

# **Les biphényles polychlorés (BPC) dans les organismes et sédiments marins côtiers aux Îles-de-la-Madeleine; évaluation de la contamination par le mazout contenu dans les sacs enfouis dans les dunes**

M. Lebeuf<sup>1</sup> et M. Chagnon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Direction régionale des sciences  
Pêches et Océans Canada  
Institut Maurice-Lamontagne  
850, route de la Mer  
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

<sup>2</sup> Direction de santé publique  
Agence de la santé et des services sociaux  
de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine  
205-1 boul. de York Ouest  
Gaspé, (Québec) G4X 2W5

2011

**Rapport technique canadien des  
sciences halieutiques et aquatiques 2941**



Pêches et Océans  
Canada

Fisheries and Oceans  
Canada

**Canada**

### **Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques**

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet ; de ce fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications intégrales. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont indexés dans la base de données Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement d'origine dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

### **Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences**

Technical reports contain scientific and technical information that contribute to existing knowledge but that are not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is indexed in the data base Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport technique canadien  
des sciences halieutiques et aquatiques 2941

2011

**Les biphényles polychlorés (BPC) dans les organismes et sédiments  
marins côtiers aux Îles-de-la-Madeleine – évaluation de la contamination  
par le mazout contenu dans les sacs enfouis dans les dunes**

par

M. Lebeuf<sup>1</sup> et M. Chagnon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Direction régionale des sciences, Pêches et Océans Canada, Institut Maurice-  
Lamontagne, 850, route de la Mer  
Mont-Joli (Québec)  
G5H 3Z4

<sup>2</sup> Direction de santé publique, Agence de la santé et des services sociaux de la  
Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine  
205-1 boul. de York Ouest  
Gaspé (Québec)  
G4X 2W5

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2011.  
N° de cat. Fs 97-6/2941F ISSN 0706-6570

On doit citer la publication comme suit :

Lebeuf, M. et Chagnon, M. 2011. Les biphényles polychlorés (BPC) dans les organismes et sédiments marins côtiers aux Îles-de-la-Madeleine; évaluation de la contamination par le mazout contenu dans les sacs enfouis dans les dunes. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2941 : viii + 49p.



## TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES .....	III
LISTE DES TABLEAUX .....	V
LISTE DES FIGURES.....	V
RÉSUMÉ.....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1.0 INTRODUCTION .....	1
1.1 CONTEXTE .....	1
1.2 OBJECTIFS .....	2
1.3 STRATÉGIE .....	2
2.0 MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	2
2.1 ÉCHANTILLONNAGE .....	2
2.1.1 Sélection des sites et des échantillons.....	3
2.1.2 Récolte des échantillons .....	3
2.1.3 Préparation des échantillons pour analyses chimiques .....	5
2.2 ANALYSES CHIMIQUES .....	6
2.2.1 Traitement des échantillons .....	7
2.2.2 Dosage .....	9
2.2.3 Contrôle de la qualité.....	10
2.2.4 Analyses statistiques.....	10
3.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	11
3.1 CONCENTRATIONS DE BPC .....	11
3.1.1 Organismes .....	11
3.1.2 Sédiments .....	12
3.1.3 Données comparatives des concentrations de BPC .....	13
3.2 PATRONS DE BPC.....	15
3.2.1 Boulettes de mazout et <i>Aroclor</i> 1242 .....	15
3.2.2 Organismes .....	16
3.2.3 Sédiments .....	18
3.3 RECOMMANDATIONS SUR LES CONCENTRATIONS EN BPC DANS LES SÉDIMENTS ET LES ORGANISMES .....	18
3.3.1 Qualité des sédiments .....	19
3.3.2 Qualité des proies consommées par des espèces fauniques .....	19
3.3.3 Qualité des poissons et sous-produits pour fins de consommation humaine .....	21
4.0 CONCLUSIONS.....	22
5.0 REMERCIEMENTS.....	24
6.0 BIBLIOGRAPHIE .....	24
ANNEXE 1. LOCALISATION DE STATIONS ÉCHANTILLONNÉES AUX CINQ SITES VISITÉS ..	27
ANNEXE 2. CARACTÉRISTIQUES DES ORGANISMES REGROUPÉS AFIN DE CONSTITUER LES ÉCHANTILLONS COMPOSITES ANALYSÉS. LES MESURES STANDARDS DES	

ORGANISMES ONT ÉTÉ EFFECTUÉES SELON LE PROTOCOLE DE LAMBERT ET MÉNAGER (1998) .....	30
ANNEXE 3. LISTE DES CONGÉNÈRES INDIVIDUELS DOSÉS DANS LES ÉCHANTILLONS ET LEUR REGROUPEMENT PAR GROUPES HOMOLOGUES DE BPC AINSI QUE LES CONGÉNÈRES DE BPC ENRICHIS AU CARBONE 13 AJOUTÉS AUX ÉCHANTILLONS. LES CONGÉNÈRES UTILISÉS DANS LE CALCUL DES ÉQUIVALENTS TOXIQUES (ET) DES BPC POUR LES ESPÈCES FAUNIQUES CONSOMMANT LE BIOTE AQUATIQUE ET LEUR FACTEUR D'ET SONT PRÉSENTÉS POUR LES MAMMIFÈRES ET LES ESPÈCES AVIAIRES .....	37
ANNEXE 4. CONCENTRATIONS DE BPC (pg/g tissu humide ou sédiment sec), DANS LES BLANCS DE PROCÉDURE, ÉCHANTILLONS RÉPLICATS ET LES ÉCHANTILLONS DE RÉFÉRENCE	40
ANNEXE 5. CONCENTRATIONS DE BPC ET ÉQUIVALENTS TOXIQUES DANS LES ÉCHANTILLONS DE TISSUS BIOLOGIQUES (pg/g humide), CONCENTRATIONS DE BPC DANS LES SÉDIMENTS (pg/g sec) ET LES BOULETTES DE MAZOUT (pg/g humide) .....	44

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Échantillons récoltés (et analysés) .....	6
Tableau 2. Concentrations de $\Sigma$ BPC dans les organismes et les sédiments côtiers récoltés aux Îles-de-la-Madeleine. ....	12
Tableau 3. Niveaux de $\Sigma$ BPC dans la chair de mollusques et crustacés et dans les sédiments de surface récoltés à différents secteurs dans le Saint-Laurent marin et diverses réserves écologiques ou sites éloignés de sources ponctuelles.....	14

## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation des stations échantillonnées aux cinq sites sélectionnés. Les sites 2, 3 et 4 représentent les sites exposés et sont situés du côté nord-ouest des IDLM alors que les sites 1 et 5 représentent les sites témoins et sont situés du côté sud-est des IDLM. Localisation de l'endroit où le mélange mazout-sable a été récolté lors d'une opération de nettoyage effectuée par la Garde côtière canadienne.....	4
Figure 2. Organismes récoltés : (A) le crabe commun ( <i>Cancer irroratus</i> ) ; (B) la moule bleue ( <i>Mytilus edulis</i> ) ; (C) la mactre de l'Atlantique ( <i>Spisula solidissima</i> ) et (D) le couteau de l'Atlantique ( <i>Ensis americanus</i> ). ....	5
Figure 3. Structure chimique générale des biphényles polychlorés (BPC). Les chiffres indiquent les positions possibles des atomes de chlore. ....	7
Figure 4. Concentrations moyennes ( $\pm$ écart-type) de $\Sigma$ BPC dans les organismes étudiés (pg/g humide), couteaux (A), mactres (B), moules (C), crabes (D) et les sédiments (E) (pg/g sec) provenant des stations témoins et des sites exposés. ....	13
Figure 5. Patrons de BPC selon les différents groupes homologues dans l'échantillon de boulettes de mazout et de sable (réplicats R1 et R2) ainsi que la proportion des congénères de BPC dans le mélange technique <i>Aroclor</i> 1242 rapportée par Erikson (1992). ....	16
Figure 6. Répartition (A) des différents types d'échantillons analysés (moyenne $\pm$ écart-type), toutes origines confondues, selon les deux principales composantes (axes) de l'ACP. Les proportions des congénères de BPC pour l' <i>Aroclor</i> 1242 proviennent d'Erikson (1992). Vecteurs (B) des différents groupes homologues expliquant la répartition des échantillons selon les deux principales composantes. ....	17
Figure 7. Concentrations moyennes ( $\pm$ écart-type) de $\Sigma$ BPC (ng/g sec) dans les échantillons de sédiments récoltés aux IDLM et concentration maximale de BPC dans les sédiments marins recommandée (provisoirement) par le CCME (2001b) pour protéger la vie aquatique.....	19
Figure 8. Concentrations moyennes ( $\pm$ écart-type) de BPC (pg d'équivalent toxique (ET)/g humide) dans les échantillons d'organismes aquatiques récoltés aux IDLM et concentration maximale dans les proies recommandée par le CCME (2001a) afin de protéger les mammifères consommant le biote aquatique. ....	20
Figure 9. Concentrations moyennes ( $\pm$ écart-type) de BPC (pg d'équivalent toxique (ET)/g humide) dans les échantillons d'organismes aquatiques récoltés aux IDLM et	

concentration maximale dans les proies recommandée par le CCME (2001a) afin de protéger les oiseaux consommant le biote aquatique.....	21
Figure 10. Concentrations moyennes ( $\pm$ écart-type) de $\Sigma$ BPC (ng/g humide) dans les échantillons d'organismes aquatiques récoltés aux IDLM et concentration maximale recommandée par l'Agence canadienne de l'inspection des aliments (ACIA) dans les poissons et ses sous-produits pour fins de consommation humaine au Canada. ....	22

## RÉSUMÉ

Lebeuf, M. et Chagnon, M. 2011. Les biphényles polychlorés (BPC) dans les organismes et sédiments marins côtiers aux Îles-de-la-Madeleine; évaluation de la contamination par le mazout contenu dans les sacs enfouis dans les dunes. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2941: viii + 49p.

Le naufrage de la barge *Irving Whale* dans le golfe du Saint-Laurent en septembre 1970 a conduit à une perte importante de sa cargaison et la formation d'une importante nappe de mazout. Une partie de cette nappe a atteint les rives du secteur nord-ouest des Îles-de-la-Madeleine (IDLM). Lors des activités de nettoyage, le mazout échoué sur les plages a été ensaché puis enfoui dans les dunes. En 1996, soit plus de 25 ans après l'évènement, il a été reconnu que le mazout était contaminé aux biphényles polychlorés (BPC). Un projet de recherche a été réalisé en 2009 afin d'évaluer si les sacs de mazout enfouis dans les dunes contribuaient à une contamination du milieu environnant en BPC. Des organismes marins, soit le crabe commun (*Cancer irroratus*), la moule bleue (*Mytilus edulis*), la mactre de l'Atlantique (*Spisula solidissima*) et le couteau de l'Atlantique (*Ensis americanus*) et des échantillons de sédiments de surface ont été prélevés à cinq sites côtiers entourant les IDLM. Trois de ces sites étaient situés du côté des IDLM où des sacs contenant du mazout ont été enfouis alors que les deux autres sites étaient situés du côté sud-est et ont servi de sites témoins. Les concentrations et les patrons de BPC dans les organismes ainsi que les sédiments de surface récoltés aux sites dits exposés ne montrent pas de différence significative par rapport aux échantillons des sites témoins. Les sacs de mazout enfouis dans les dunes ne constituent donc pas une source identifiable de BPC pour les organismes et sédiments côtiers. De plus, selon les critères et recommandations du gouvernement canadien, les concentrations de BPC mesurées dans les différents types d'organismes et dans les sédiments de surface ne présentent pas de risque pour les organismes exposés aux sédiments, les consommateurs de biote aquatique (mammifères et oiseaux) ou la santé humaine.

## ABSTRACT

Lebeuf, M. et Chagnon, M. 2011. Les biphényles polychlorés (BPC) dans les organismes et sédiments marins côtiers aux Îles-de-la-Madeleine; évaluation de la contamination par le mazout contenu dans les sacs enfouis dans les dunes. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2941 : viii + 49p.

The sinking of the barge *Irving Whale* in the Gulf of St. Lawrence in September 1970 led to a major loss of its load and to the formation of a large fuel oil slick. Part of the oil slick washed ashore on the northwestern beaches of the Magdalen Islands (MI). During the clean-up activities, the oil and sand mix was put into bags and buried into nearby dunes. In 1996, more than 25 years later, it was discovered that the oil contained polychlorinated biphenyls (PCB). A research project was undertaken in 2009 to assess whether the bags of fuel oil buried in the dunes contribute to the contamination by PCB of the coastal environment. Four species of marine organisms, Rock crab (*Cancer irroratus*), Common mussel (*Mytilus edulis*), Atlantic surf clam (*Spisula solidissima*) and American razor clam (*Ensis americanus*) and surface sediments were sampled at five coastal sites around the MI. Three sites located on the northwestern side of the MI, were considered as exposed sites, whereas the two other sites, used as reference sites, are located on the southeast sides of the MI. PCB concentrations and patterns in marine organisms and surface sediments from exposed sites were not significantly different from those found in samples from reference sites. We conclude that the bags of oil buried in the dunes do not constitute an identifiable source of PCB for the organisms and the coastal surface sediments around the MI. According to the Canadian Environmental Quality Guidelines, PCB concentrations in organisms and surface sediment samples collected around the MI do not present a risk for the organisms exposed to sediments, consumers of aquatic biota (mammals and birds) or human health.



## 1.0 INTRODUCTION

### 1.1 CONTEXTE

Les biphényles polychlorés (BPC) sont des composés organiques synthétiques qui ont été ajoutés à de nombreux produits de consommation et largement utilisés en industries. La production des BPC a débuté en 1929 aux États-Unis pour culminer vers le début des années 1970 et se terminer en 1979. Sous certaines conditions, notamment à l'intérieur de systèmes clos, l'utilisation des BPC est encore tolérée aujourd'hui. Cependant, aucune nouvelle application de BPC n'a été autorisée au Canada depuis 1983. En raison de leurs caractéristiques physico-chimiques et de leur grande résistance à la dégradation, les BPC continuent d'être présents à des niveaux quantifiables dans l'environnement, notamment dans les organismes et les sédiments marins.

En septembre 1970, la barge *Irving Whale* sombrait dans les eaux du golfe du Saint-Laurent à environ 100 km des Îles-de-la-Madeleine (IDLM). Cet accident provoqua un écoulement de mazout qui, entre le 21 et le 29 septembre 1970, atteignit certaines rives des IDLM, particulièrement celles du secteur nord-ouest (Ages 1971). Au cours de l'automne 1970, une campagne de nettoyage des plages a été réalisée sous la supervision de la Garde côtière canadienne (GCC) à l'époque sous le ministère de Transport Canada (TC). Pour se faire, les dépôts de mazout ont été recueillis puis éliminés de différentes façons dont l'ensachement et l'enfouissement de sacs dans les dunes adjacentes. On ne connaît pas exactement ni les quantités ni la localisation des sacs de mazout enfouis dans les dunes des IDLM, bien qu'on estime leur nombre initial entre 150 000 et 200 000. On sait cependant que les conditions d'érosion ont mené à la résurgence de sacs sur les plages des IDLM. Toutefois, on ne possède que très peu d'information sur la gestion des sacs de mazout récupérés entre 1970 et 1996.

En 1996, les activités entourant le renflouage de la barge *Irving Whale* ont permis de découvrir que le mazout écoulé de la barge était contaminé aux BPC (Gilbert *et al.* 1997, 1998). Jusqu'au moment du naufrage, les BPC étaient contenus dans un système de chauffage en circuit fermé qui permettait de maintenir la cargaison de mazout à une température d'environ 55-60°C. Lors du naufrage de la barge *Irving Whale*, les BPC se seraient échappés de la tuyauterie du système de chauffage et auraient contaminé le mazout contenu dans la barge. Par conséquent, le mazout présent dans les sacs enfouis dans les dunes des IDLM est contaminé aux BPC.

À partir de 1996, la GCC, en collaboration avec le ministère de l'Environnement du Canada (EC), a mis en place une stratégie d'intervention en matière de gestion des sacs aux IDLM qui consistait à les récupérer lorsqu'ils ressurgissaient des dunes, et à en éliminer le contenu selon les normes en vigueur pour les matières dangereuses contenant des BPC (CCME 1989). Ainsi, entre mai 1996 et novembre 2010, la présence de sacs à plus d'une quarantaine de sites longeant la côte ouest des IDLM entre Havre-Aubert (Dune du Bassin) au sud et Grosse-île (Dune du Nord) au nord ont été rapportés à la GCC

puis nettoyés de leurs sacs (GCC 2011). Ainsi, quelque 7400 sacs contenant un mélange de mazout souillé aux BPC et de sable ont été détruits.

La découverte de 758 sacs contenant du mazout dans les dunes à proximité de résidences de Pointe-aux-Loups en août 2008 et les inquiétudes accrues des Madelinots face à cette source potentielle de contamination ont mené la GCC à entreprendre diverses actions afin de réévaluer les impacts possibles des sacs contenant du mazout contaminé aux BPC enfouis dans les dunes et d'explorer les options qui s'offrent à elle dans leur gestion. Ce projet s'inscrit dans l'initiative de la GCC qui vise à actualiser sa stratégie d'intervention en matière de gestion des sacs contenant du mazout contaminé aux BPC enfouis dans les dunes aux IDLM.

## **1.2 OBJECTIFS**

Le principal objectif du projet était d'évaluer la contamination en BPC dans les organismes et les sédiments marins côtiers par le mazout contenu dans les sacs enfouis dans les dunes des IDLM. Le projet visait également à évaluer si la contamination en BPC des sédiments menace la vie aquatique des organismes et si la contamination en BPC des organismes menace les espèces qui les consomment, incluant les humains.

## **1.3 STRATÉGIE**

Afin de répondre aux objectifs du projet, la stratégie adoptée consistait à mesurer les concentrations de BPC dans les organismes et les sédiments marins côtiers récoltés à moins d'un kilomètre des dunes où des sacs contenant du mazout sont enfouis aux IDLM et à les comparer à celles mesurées dans les échantillons récoltés à des sites côtiers témoins aux IDLM. La composition relative des congénères de BPC dans les organismes et les sédiments marins récoltés à des sites côtiers situés à proximité des sacs de mazout enfouis dans les dunes aux IDLM a également été comparée à celle de la source potentielle de BPC, soit le mazout qu'on retrouve sous forme de boulettes dans les sacs, et à celle des échantillons récoltés à des sites côtiers témoins aux IDLM. De plus, les concentrations de BPC dans les organismes et sédiments récoltés aux IDLM ont été comparées avec celles rapportées ailleurs dans le Saint-Laurent marin et dans le monde. Les concentrations de BPC dans les sédiments et les organismes ont également été comparées aux critères et recommandations canadiennes pour la protection de la vie aquatique et de la faune consommant le biote, incluant l'être humain.

# **2.0 MATÉRIELS ET MÉTHODES**

## **2.1 ÉCHANTILLONNAGE**

La campagne d'échantillonnage visait la récolte d'échantillons à des sites potentiellement exposés au lessivage de BPC provenant du mazout contenu dans des sacs enfouis dans les dunes ainsi que des sites témoins aux IDLM. De plus, la campagne ciblait des organismes



sédentaires, ou peu mobiles, donc représentatifs de l'exposition aux sources de BPC au site de leur récolte, et des sédiments côtiers marins pour leur capacité à accumuler les BPC présents dans leur environnement immédiat principalement en raison de la matière organique qu'ils contiennent. Enfin, une requête auprès de la Garde côtière canadienne a été faite afin d'obtenir un échantillon de boulettes de mazout lors d'une intervention de récupération de sacs de mazout contaminés aux BPC aux IDLM.

### 2.1.1 Sélection des sites et des échantillons

Cinq sites, dont trois exposés et deux témoins, ont été sélectionnés aux IDLM (Figure 1). Dans la plupart des sites, plusieurs stations ont été échantillonnées afin de récolter les organismes désirés (Annexe 1). Les sites 2 (Île aux Goélands), 3 (Cap de l'Hôpital) et 4 (Pointe-aux-Loups) représentent les sites exposés et sont localisés du côté nord-ouest des IDLM à moins d'un kilomètre des dunes contenant possiblement des sacs de mazout et qui sont potentiellement exposés aux BPC par lessivage du contenu des sacs. La sélection de ces sites a été basée sur l'identification des zones de dépôts du mazout à la suite du naufrage de la barge *Irving Whale* en 1970 (Ages, 1971) et la localisation des sites d'interventions de la GCC entre 1996 et 2008 (GCC 2009). Les sites 1 (Anse au Plâtre) et 5 (Cap Noir) sont situés du côté sud-est des IDLM et constituent les sites témoins. Lors de la sélection des sites témoins, les critères suivants ont été considérés : similarité physique par rapport aux sites exposés, éloignement des sources potentielles de BPC (notamment les municipalités) et présence des espèces d'organismes récoltés aux sites exposés.

Quatre types d'organismes, dont un crustacé, le crabe commun (*Cancer irroratus*) et trois espèces de mollusques, la moule bleue (*Mytilus edulis*), la mactre de l'Atlantique (*Spisula solidissima*) et le couteau de l'Atlantique (*Ensis americanus*) ont été récoltés (Figure 2). Des échantillons de sédiments de surface côtiers ont également été récoltés à chacun des sites sélectionnés.

### 2.1.2 Récolte des échantillons

Lors de la campagne d'échantillonnage, en mai 2009, des échantillons de sédiments ont été récoltés par les plongeurs à chacun des sites en raclant la surface (0-5 cm) du fond marin à l'aide de pots en verre de type Mason. Dès leur arrivée à bord de l'embarcation, les pots de sédiments ont d'abord été placés dans une glacière à environ 0 °C pour une période pouvant atteindre jusqu'à 30 heures selon les sites puis congelés à -20 °C jusqu'au moment de leur préparation pour analyses chimiques.

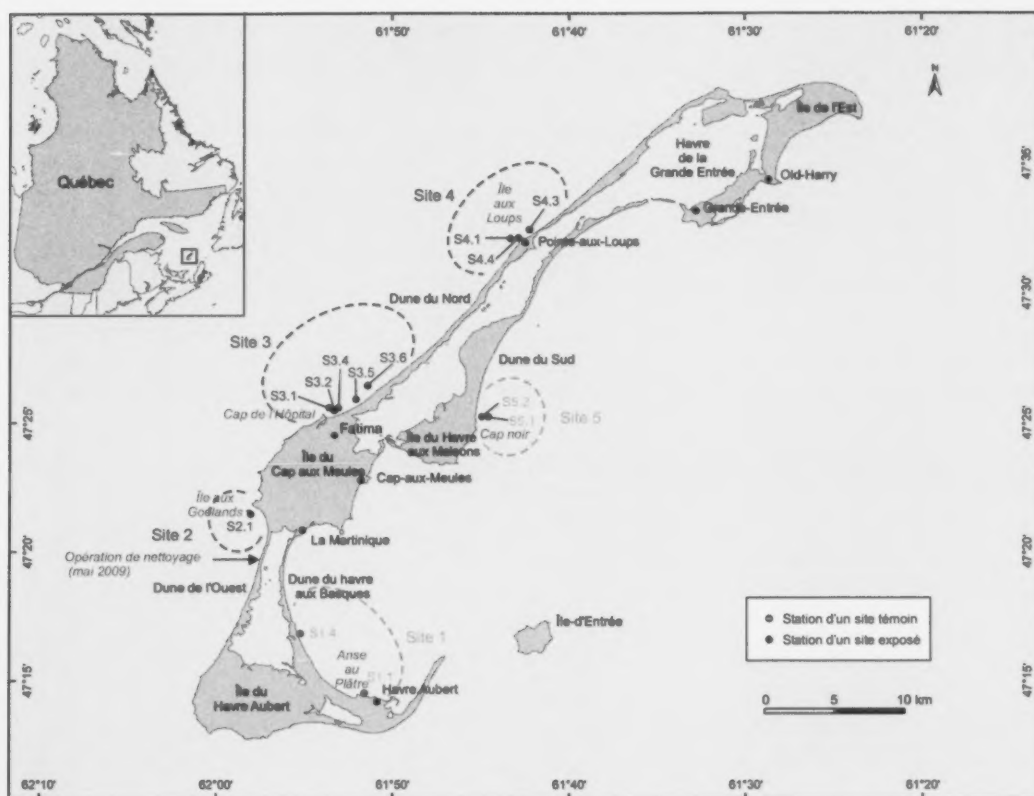


Figure 1. Localisation des stations échantillonnées aux cinq sites sélectionnés. Les sites 2, 3 et 4 représentent les sites exposés et sont situés du côté nord-ouest des IDLM alors que les sites 1 et 5 représentent les sites témoins et sont situés du côté sud-est des IDLM. Localisation de l'endroit où le mélange mazout-sable a été récolté lors d'une opération de nettoyage effectuée par la Garde côtière canadienne.

Lors de la campagne d'échantillonnage, les organismes ont été récoltés aux mêmes sites que les sédiments. Les crabes communs et moules bleues ont été récoltés à tous les sites alors que les mactres et les couteaux ont été récoltés à deux sites exposés et à un site témoin. Les crabes ramenés par les plongeurs ont été placés dans des sacs de plastique puis entreposés dans une glacière à environ 0°C pour une période pouvant atteindre 30 heures. Les bivalves ont été placés dans des pots de verre contenant de l'eau récoltée aux sites d'échantillonnage à l'aide d'une bouteille de type Niskin. De l'eau des différents sites a aussi été récoltée afin de permettre le renouvellement de l'eau dans laquelle les organismes étaient plongés pour favoriser l'élimination du contenu de leur système digestif. Tout comme pour les crabes, les bivalves ont été conservés dans des glacières jusqu'à moment de leur nettoyage externe. Par la suite, les organismes ont été regroupés et placés dans des sacs de plastique de manière à constituer les regroupements d'échantillons (échantillons composites). Tous les échantillons ont été congelés à -20 °C jusqu'au moment de leur préparation pour analyses chimiques.

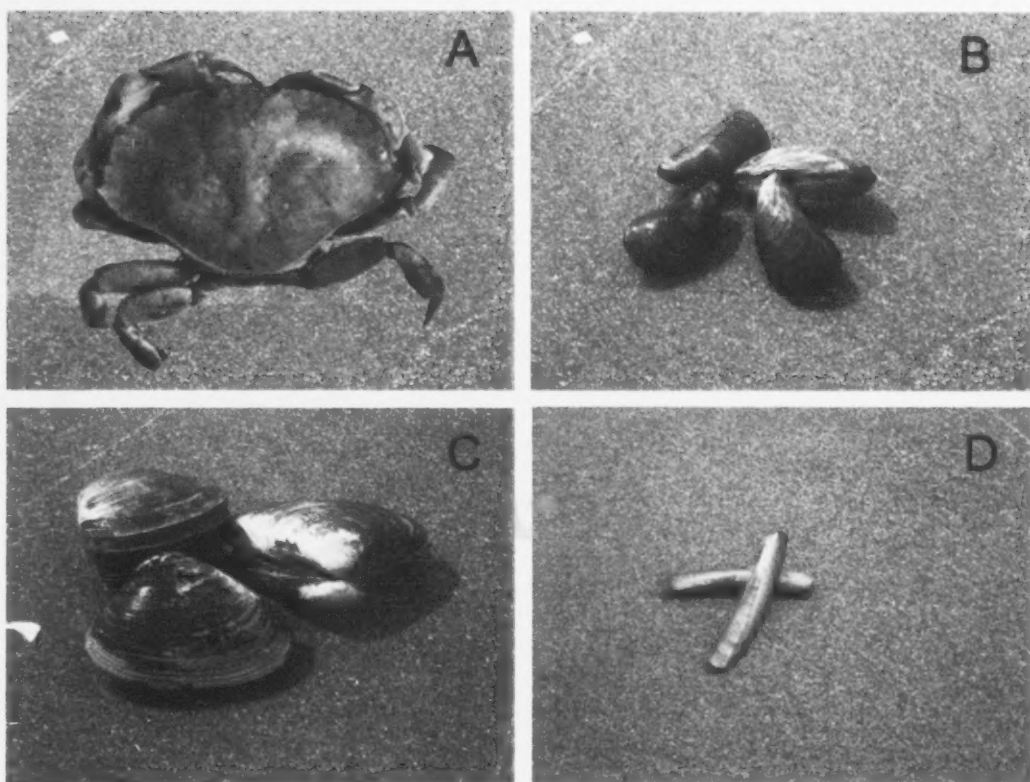


Figure 2. Organismes récoltés : (A) le crabe commun (*Cancer irroratus*) ; (B) la moule bleue (*Mytilus edulis*) ; (C) la mactre de l'Atlantique (*Spisula solidissima*) et (D) le couteau de l'Atlantique (*Ensis americanus*).

Quelques semaines avant notre campagne d'échantillonnage, la Garde côtière canadienne réalisait une intervention de récupération de sacs contenant du mazout contaminé aux BPC dans le secteur de la Dune de l'Ouest (Figure 1). Il a donc été possible d'obtenir un sous-échantillon composé de boulettes de mazout et de sable provenant de cette localisation. L'échantillon a été placé dans un pot de verre puis congelé à -20 °C jusqu'au moment de sa préparation pour analyses chimiques.

### 2.1.3 Préparation des échantillons pour analyses chimiques

Les échantillons de sédiments récoltés n'ont subi aucun traitement particulier avant de procéder aux analyses chimiques. L'échantillon de boulettes de mazout et de sable a été broyé à l'aide d'un mortier et d'un pilon. Quant aux organismes de chaque espèce provenant d'un même site, ils ont été regroupés afin de préparer des échantillons composites. Au total, 23 échantillons de sédiments de surface, un échantillon de mazout-sable et 45 échantillons composites d'organismes ont été préparés. La liste des

échantillons de sédiments et des échantillons composites préparés à partir des organismes provenant des différents sites ainsi que les échantillons retenus pour analyses chimiques sont présentés au Tableau 1.

Tableau 1. Échantillons récoltés (et analysés)

	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Total
Sédiments	6 (2)	4 (2)	5 (1)	4 (1)	4 (1)	23 (7)
Crabe	3 (1)	3 (1)	3 (2)	3 (1)	3 (2)	15 (7)
Moule	3 (2)	3 (1)	3 (1)	3 (2)	3 (1)	15 (7)
Mactre	-	-	2 (1)	3 (2)	3 (2)	8 (5)
Couteau	3 (2)	3 (2)	1 (1)	-	-	7 (5)
Total des échantillons	15 (7)	13 (6)	14 (6)	13 (6)	13 (6)	68 (31)

Les échantillons composites de tissus biologiques regroupaient entre 3 et 7 individus. Dans le cas des crabes, le tissu mou des pinces et du premier segment des deux plus grosses pattes des différents individus ont ainsi été regroupés. Dans le cas des bivalves, le tube digestif de chaque individu a d'abord été retiré et le reste du tissu regroupé avec celui des autres individus. Lorsque nécessaire, les tissus récoltés ont été rincés à l'eau préalablement extraite à l'hexane. L'homogénéisation des échantillons composites a été réalisée à l'aide de ciseaux et d'un scalpel dans un pot de verre à grande ouverture. La dissection de chaque individu a été réalisée en utilisant des outils nettoyés au savon et rincés aux solvants organiques, dans l'ordre le méthanol, le dichlorométhane et l'hexane. De plus amples détails sur la composition des échantillons composites qui ont été analysés sont disponibles à l'Annexe 2.

## 2.2 ANALYSES CHIMIQUES

Il existe théoriquement 209 congénères de BPC selon la position des atomes de chlore sur les cycles phényles (Figure 3). Les mélanges commerciaux de BPC, connus sous le nom d'*Aroclor* en Amérique du Nord, contiennent un nombre limité de congénères. Les mélanges *Aroclor* les plus utilisés ont été les *Aroclor* 1242, 1248 et 1260. Les deux premiers chiffres correspondent au nombre d'atomes de carbone présents sur la molécule (ils sont au nombre de 12 dans la structure chimique biphenyle) et les deux derniers chiffres correspondent au pourcentage massique du chlore dans le mélange. Par exemple, 42% de la masse de l'*Aroclor* 1242 est constituée de chlore.

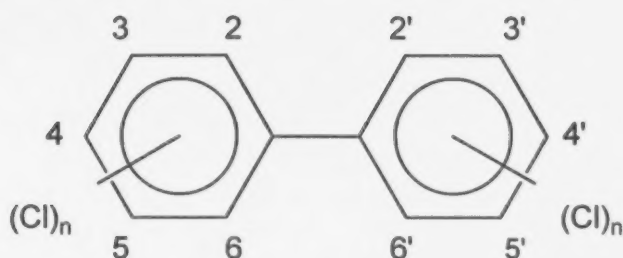


Figure 3. Structure chimique générale des biphényles polychlorés (BPC). Les chiffres indiquent les positions possibles des atomes de chlore.

Il existe plusieurs méthodes permettant de mesurer et rapporter les BPC dans un échantillon. Historiquement, les résultats d'analyses quantitatives de BPC faisaient référence aux mélanges commerciaux. Ainsi, la quantification était basée sur un nombre plus ou moins restreint de pics chromatographiques présents dans les échantillons et dans le mélange *Aroclor* de référence. Afin d'optimiser la quantification, différents mélanges *Aroclor* ont été combinés en diverses proportions afin de reproduire le plus fidèlement possible les patrons de BPC retrouvés dans les échantillons. On rapportait ainsi les concentrations de BPC sous l'appellation BPC totaux. Les méthodes analytiques actuelles sont plutôt basées sur la quantification des congénères spécifiques. Certaines méthodes permettent de mesurer la totalité des 209 congénères de BPC. Les concentrations de BPC sont généralement rapportées sous la forme de la somme des congénères mesurés ( $\Sigma$ BPC). Il est également courant de rapporter les niveaux de BPC par groupe homologue, c'est-à-dire en sommant les concentrations des congénères possédant le même nombre d'atomes de chlore.

Le mélange de BPC utilisé dans la barge *Irving Whale* a été identifié comme étant l'*Aroclor* 1242, un mélange dont la composition est enrichie à 80% de congénères contenant 3 ou 4 atomes de chlore (Erikson 1992). Dans le cadre de cette étude, il a été jugé préférable de mesurer les congénères spécifiques de BPC dans les échantillons au lieu de leur équivalent en *Aroclor* 1242. De cette façon, on évite lors de la quantification des échantillons en BPC le biais causé par un patron de congénères altéré par rapport au mélange *Aroclor* 1242.

### 2.2.1 Traitement des échantillons

Chaque échantillon de sédiments a d'abord été décongelé puis entièrement homogénéisé. Un sous-échantillon de quelques grammes a été prélevé afin de déterminer par gravimétrie la teneur en eau des sédiments. Approximativement 40 g de chaque échantillon ont été pesés et répartis dans deux mortiers contenant environ 20 g de sulfate de sodium. Le contenu de chaque mortier a été broyé puis placé dans une cellule d'extraction afin de procéder à une extraction accélérée par solvant (ASE; Dionex). Un premier échantillon sec de sédiments de référence (SRM ; sédiments, Umea A) a été pesé (approximativement 1 g) et placé dans une cellule d'extraction ASE. Un second



échantillon de sédiments SRM a été placé dans une cellule d'extraction ASE puis dopé avec des quantités connues de différents congénères de BPC. Les échantillons de sédiments, les SRM ainsi que deux échantillons contenant uniquement du sulfate de sodium ont été dopés avec un mélange de treize congénères de BPC enrichis isotopiquement au carbone 13 (Annexe 3). Le contenu de chaque cellule ASE a été extrait avec un mélange 80:20 v/v toluène/acétone à 180 °C et 2000 psi pendant 10 min. L'extrait a été transféré dans un tube puis une seconde extraction a été effectuée sous les mêmes conditions en utilisant du solvant frais. Les deux extraits ont été combinés puis regroupés avec les extraits de l'autre cellule contenant la deuxième portion du même échantillon. L'extrait final de chaque échantillon a été réduit à environ 10 ml à l'aide d'un évaporateur rotatif puis à moins de 1 ml sous jet d'azote purifié. Afin de procéder à un changement de solvant, l'extrait a été transféré dans un tube à centrifugation en utilisant 10-15 ml d'un mélange 50:50 v/v dichlorométhane (DCM)/hexane puis concentré sous jet d'azote à environ 500 µl et finalement évaporé à sec sous la hotte à température de la pièce, en préparation pour les étapes de purification.

Les échantillons de tissus biologiques ont été traités par groupe d'environ dix. Chaque échantillon a été décongelé puis homogénéisé de nouveau avant d'être sous-échantillonné pour déterminer sa teneur en eau. Les analyses de BPC ont été réalisées sur des échantillons pesant entre 15 et 20 g de tissus. Les échantillons de tissus ainsi qu'un échantillon de référence (hareng entier; EDF-2524) ont été asséchés à l'aide de sulfate de sodium anhydre et broyés à l'aide d'un pilon et d'un mortier. Les échantillons de tissus ainsi que deux échantillons contenant uniquement du sulfate de sodium ont été dopés avec un mélange de treize congénères de BPC isotopiquement enrichis au carbone 13 (Annexe 3) puis transférés dans des colonnes d'extraction. Le contenu de chaque colonne a été élué par gravité avec 350 ml d'un mélange 50:50 v/v de DCM/hexane. Comme pour les sédiments, chaque extrait de tissus a subi un changement de solvant avant d'être évaporé à sec en préparation pour les étapes de purification.

Chaque extrait de sédiments ou de tissus biologique a été repris dans 2-3 ml de pentane puis passé séquentiellement à l'aide de pentane à travers une série de colonnes de purification à l'aide d'un système programmable de distribution de solvant (Power-Prep; Fluid Management Systems). La première colonne contenant de la silice acide a servi à hydrolyser les lipides dans l'extrait afin de libérer les BPC liés aux lipides. La seconde colonne composée de silice acide, basique et neutre a permis de retenir divers constituants de l'échantillon et certains composés interférents tout en laissant passer les BPC. La troisième colonne contenant de l'alumine basique a servi à retenir les BPC alors que les composés interférents non-polaires ont été élués. Par la suite, la colonne d'alumine a été éluée séquentiellement avec les mélanges de DCM/hexane dans les proportions de 2:98 et de 50:50 v/v de manière à récupérer tous les BPC incluant les congénères marqués au carbone 13. La fraction finale contenant les BPC a été évaporée jusqu'à environ 200 µL sous jet d'azote avant d'être transférée dans un microvial puis réduite sous jet d'azote de manière à obtenir un volume entre 100 et 200 µL. Un mélange de trois étalons de recouvrement enrichis au carbone 13 ( $^{13}\text{C}_{12}$  TrCB-28,  $^{13}\text{C}_{12}$  PeCB-111,  $^{13}\text{C}_{12}$  HpCB-178) a été ajouté à l'extrait final avant de procéder au dosage.

## 2.2.2 Dosage

Le dosage des BPC a été effectué par chromatographie en phase gazeuse (model HP5890 II ou 6890, Agilent Technologies) couplé à un spectromètre de masse à secteur magnétique (VG Autospec S ou Autospec Ultima, Micromass). Chaque extrait a été analysé à deux reprises en utilisant deux colonnes chromatographiques capillaires différentes (colonne DB-5, J&W Scientific, colonne CP-SIL 19CB, Varian) afin d'optimiser la séparation des congénères de BPC. Chaque colonne capillaire était d'une longueur entre 55 et 60 m avec un diamètre interne de 250  $\mu\text{m}$  et une épaisseur de film de 0,1  $\mu\text{m}$  pour la DB-5 ou 0,15  $\mu\text{m}$  pour la CP-19. Le gaz transporteur était l'hélium et la pression dans la colonne était maintenue à 170 kPa (DB-5) ou 125 kPa (CP-19). À l'aide d'un autoéchantillonneur CTC, un volume de 1  $\mu\text{L}$  d'extrait a été injecté dans la colonne chromatographique par l'intermédiaire d'un injecteur split/splitless en conservant une température constante de 282 °C et un débit de gaz de 50 ml/min pendant 2 min. Les séparations chromatographiques sur la colonne DB-5 ont été effectuées selon le programme de températures suivant : température initiale de 80 °C pendant 2 min, augmentation à 8 °C/min jusqu'à 150 °C, puis à 4 °C/min jusqu'à 300 °C maintenu pendant 2 min. La programmation de la colonne CP-19 comprenait les étapes suivantes : température initiale de 100 °C pendant 2 min, augmentation à 20 °C/min jusqu'à 200 °C, puis à 1,5 °C/min jusqu'à 265 °C et finalement à 7,5 °C/min jusqu'à 280°C maintenu pendant 2 min.

L'ionisation des composés a été réalisée en mode d'impact électronique (EI+) dont l'énergie utilisée était de 35 eV. Les températures de l'orifice et de la source étaient respectivement de 240 et 300 °C. Le spectromètre de masse a été opéré à une résolution de 10 000 et les données ont été acquises en mode de suivi d'ions spécifiques (SIR). L'identification et la quantification de chaque composé ont été basées sur la présence de deux pics isotopiques spécifiques éluant à moins de 2 s d'intervalle et d'un ratio d'aire d'intégration inférieur à 15% pour les BPC enrichis au carbone 13 et de 20% pour les autres BPC. La somme des aires d'intégration des deux pics isotopiques spécifiques a été déterminée pour chaque composé, puis rapportée en termes de concentration selon la méthode d'étalons internes en utilisant les facteurs de réponses relatives moyennes (RRF) déterminés lors d'un étalonnage précédent. Le point d'étalonnage intermédiaire (CS3) a été injecté à tous les 10 échantillons de manière à vérifier que les RRF soient à l'intérieur de 25% pour les composés enrichis au carbone 13 et de 20% pour les autres BPC. Dans le cas où un effet mémoire de la colonne supérieur à 5% était observé entre deux échantillons consécutifs, les échantillons étaient réinjectés.

La méthode utilisée permet de mesurer les concentrations de 206 congénères de BPC. La somme des BPC ( $\Sigma\text{BPC}$ ) regroupe tous les congénères substitués avec deux atomes de chlore et plus. La représentation par groupes homologues rassemble 12 (di-CB), 24 (tri-CB), 43 (tétra-CB), 46 (penta-CB), 42 (hexa-CB), 24 (hepta-CB) et 16 (octa à déca-CB) congénères spécifiques. Les congénères compris dans chaque groupe homologue ainsi que ceux utilisés pour le calcul des équivalents toxiques (ET), dont le concept est défini à la section 3.3.2, sont identifiés à l'Annexe 3. Les valeurs de BPC rapportées dans ce rapport ont été corrigées pour la présence de BPC dans les blancs de procédure dans

chaque série analytique (Annexe 4) et pour le recouvrement des congénères enrichis au carbone 13 dans chaque échantillon (Annexe 5).

### 2.2.3 Contrôle de la qualité

Les procédures de contrôle de la qualité des analyses incluent l'analyse d'un blanc de procédure pour chaque série d'analyse, d'un échantillon en réplicat et de l'analyse d'un échantillon de référence. Les résultats des échantillons de contrôle sont rapportés à l'Annexe 4. Les concentrations de BPC dans les échantillons sont corrigées pour la présence de BPC dans les blancs de procédure et pour le recouvrement des BPC enrichis au carbone 13 ajoutés en début de procédure. La correction pour la présence de BPC dans les blancs de procédure variait entre 40 et 150 pg/g humide selon les séries. Cette correction est négligeable pour la majorité des échantillons sauf dans le cas de certains échantillons de mactres et de sédiments. Le recouvrement des composés enrichis au carbone 13 variait entre 30 et 90% sans égard au type de matrice. Le recouvrement était systématiquement plus efficace pour les congénères les plus substitués ce qui suggère que les pertes avaient lieu principalement lors des étapes d'évaporation.

La précision de la méthode a été évaluée à l'aide des résultats des réplicats rapportés en termes de coefficient de variation (CV). Les CV sont généralement inférieurs à 20% pour les composés dont la quantité de composés dans l'extrait est supérieure à 400 ng (quantité d'échantillon analysée multipliée par la concentration mesurée). Cependant, la précision des mesures diminue lorsque la quantité de composés dans l'extrait est inférieure à 400 ng. Pour les mêmes raisons, la précision des valeurs rapportées en équivalent toxique (ET) peuvent être supérieure à 20% lorsque les congénères qui contribuent le plus aux valeurs de ET, en raison de leur facteur d'équivalent toxique (FET) élevé (Annexe 3), sont présents en faibles quantités.

La justesse analytique de la méthode a été évaluée en analysant un échantillon de sédiments avec et sans dopage à l'aide d'un mélange connu de BPC (Annexe 4). La justesse des concentrations de BPC pour chaque groupe homologue, rapportée sous la forme de CV, est de 12% ou meilleur. De plus, les résultats de BPC dans les échantillons de référence Umea A (sédiments) et EDF-2524 (hareng entier) ont été comparés à ceux rapportés dans les certificats respectifs (van Bavel 2002, 2003; CIL 2006). Les concentrations des BPC pour chaque groupe homologue, en considérant les valeurs de concentrations des congénères rapportés dans les échantillons de référence, dévient à moins de 15% des valeurs de référence. Dans le cas des valeurs de ET, la justesse est respectivement de 30 et 50% selon que les valeurs de ET sont calculées pour les oiseaux ou les mammifères.

### 2.2.4 Analyses statistiques

Les tests statistiques ont été réalisés en utilisant les concentrations en BPC sur une base de poids humide pour les organismes et de poids sec pour les sédiments. Les



concentrations moyennes (arithmétiques) de  $\Sigma$ BPC dans les organismes et les sédiments entre les sites exposés et les sites témoins ont été comparées individuellement pour chaque matrice à l'aide d'un test bilatéral *t* de *Student*.

Les patrons de BPC dans les organismes, les sédiments, l'échantillon de boulette de mazout et le mélange *Aroclor* 1242 ont été comparés entre eux à l'aide d'une analyse en composante principale (ACP). En préparation pour l'ACP, les concentrations en BPC des différents groupes homologues de chaque échantillon ont été centrées et réduites. À la suite de l'ACP, les valeurs moyennes des coordonnées (*scores*) des deux composantes principales (axes) ont été calculées pour chaque matrice puis comparées entre elles à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA) suivi d'une analyse *a posteriori* de Tukey afin d'identifier les matrices ayant un patron de BPC différents des autres. Dans le cas des échantillons analysés en réplicat, incluant l'échantillon de boulette de mazout, les résultats de chaque réplicat ont été considérés alors que pour le mélange *Aroclor* 1242, le patron rapporté par Enrikson (1992) a été retenu pour les comparaisons. Pour l'ensemble des tests statistiques, le niveau de signification utilisé était de  $\alpha=0,05$ .

### 3.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 CONCENTRATIONS DE BPC

Les concentrations de BPC mesurées dans les échantillons d'organismes et de sédiments sont rapportées à l'Annexe 5 pour chaque groupe homologue ainsi que pour la somme des congénères ( $\Sigma$ BPC). Les concentrations de BPC dans les échantillons d'organismes sont rapportées par g de poids humide alors que dans les échantillons de sédiments elles sont rapportées par g de poids sec.

##### 3.1.1 Organismes

Les BPC sont détectés dans tous les échantillons de tissus biologiques analysés (Tableau 2). Les concentrations les plus faibles ont été mesurées dans le muscle des couteaux ( $325 \pm 68$  pg/g) alors que les plus élevées se retrouvent généralement dans les muscles des pattes de crabe ( $1397 \pm 508$  pg/g). Parmi tous les échantillons analysés, la concentration en BPC la plus élevée a été mesurée dans un échantillon de moules provenant du site témoin 1 ( $3661$  pg/g).

Les concentrations moyennes en BPC dans les organismes prélevés aux sites témoins (1 et 5) sont comparées à celles mesurées dans les organismes prélevés aux sites exposés (sites 2 à 4) (Figure 4). Dans le cas des couteaux (Figure 4A) et des crabes (Figure 4D), la variation des concentrations entre les échantillons des différents sites est très faible, se rapprochant de la variabilité analytique. Chez les mactres (Figure 4B), un des échantillons provenant du site 4 est dix fois plus contaminé en  $\Sigma$ BPC que les autres échantillons analysés de cette matrice tous sites confondus, ce qui explique la valeur moyenne élevée et le grand écart-type rapportés pour les échantillons des sites exposés.

Les résultats des tests statistiques indiquent que les concentrations moyennes de  $\Sigma$ BPC dans les espèces d'organismes examinées ne diffèrent pas entre les échantillons des sites témoins et celles des sites exposés.

Tableau 2. Concentrations de  $\Sigma$ BPC dans les organismes et les sédiments côtiers récoltés aux Îles-de-la-Madeleine.

Station	Échantillon	Couteau pg/g humide	Mactre pg/g humide	Moule pg/g humide	Crabe pg/g humide	Sédiments pg/g sec
1	1	304				267
	2	399		3661	1771	341
	3			849		
2	1	343		669		225
	2	358				208
	3				1460	
3	1	219	161	2146	810	348
	2					
	3				1060	
4	1		108	969	2025	116
	2		1850	807		
5	1		127		807	587
	2		173	520		
	3				1848	

Les concentrations en caractères gras représentent la valeur moyenne de deux réplicats.

### 3.1.2 Sédiments

Les échantillons de sédiments de surface récoltés aux différents sites possèdent une granulométrie similaire et sont essentiellement composés de sable. Leur contenu en eau varie entre 16,5 et 22,1%. La variabilité des niveaux de BPC dans les sédiments, rapportée sous la forme d'un coefficient de variation, est de 50%. L'échantillon le plus contaminé, à 587 pg/g, a été récolté au site témoin 5, alors que l'échantillon le moins contaminé en BPC, à 116 pg/g, a été prélevé au site exposé 4 (Tableau 2).

Les concentrations moyennes en BPC dans les sédiments prélevés aux sites témoins sont comparées à celles mesurées dans les sédiments prélevés aux sites exposés (Figure 4E). Les résultats des tests statistiques indiquent que la concentration moyenne de  $\Sigma$ BPC dans les sédiments des sites témoins n'est pas différente de celle mesurée dans les échantillons des sites exposés.

Les organismes ainsi que les sédiments analysés ont été récoltés à moins d'un kilomètre des dunes aux différents sites. Cette proximité des dunes devraient permettre de déceler la présence d'une source de contamination si sa contribution est significative.

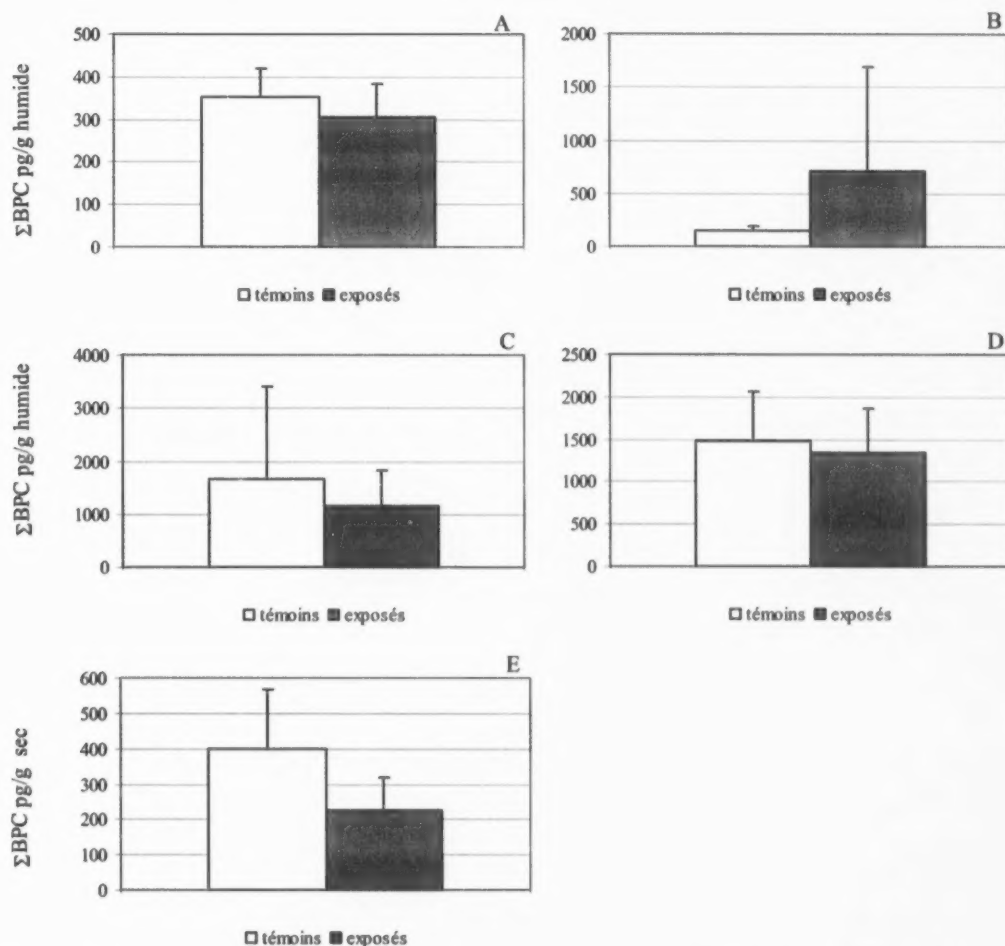


Figure 4. Concentrations moyennes ( $\pm$  écart-type) de  $\Sigma$ BPC dans les organismes étudiés (pg/g humide), couteaux (A), mactres (B), moules (C), crabes (D) et les sédiments (E) (pg/g sec) provenant des stations témoins et des sites exposés.

### 3.1.3 Données comparatives des concentrations de BPC

La présence des niveaux détectables de BPC a été observée dans tous les échantillons récoltés aux IDLM. Cette situation n'est cependant pas surprenante compte tenu d'une part que la contamination de l'environnement par les BPC est mondiale et que d'autre part les méthodes analytiques utilisées dans cette étude sont très sensibles. Dans le but de fournir une perspective de la contamination en BPC dans les organismes et les sédiments marins côtiers récoltés aux IDLM, les concentrations mesurées ont été comparées à celles

rapportées dans des échantillons de matrices similaires récoltés dans d'autres secteurs du Saint-Laurent marin, dans des sites éloignés de sources ponctuelles connues, et dans des sites où les apports en BPC sont contrôlés, notamment dans des réserves écologiques internationales (Tableau 3).

Tableau 3. Niveaux de  $\Sigma$ BPC dans la chair de mollusques et crustacés et dans les sédiments de surface récoltés à différents secteurs dans le Saint-Laurent marin et diverses réserves écologiques internationales ou sites éloignés de sources ponctuelles

Secteur / site <sup>1</sup>	Organisme <sup>2</sup>	n	Concentration moyenne (ng/g humide)	Écart-type	Référence
IDLM	b, c	24	0,98	0,87	Cette étude
GSL	c	7	16,9	31,7	Gilbert <i>et al.</i> 1998
ESLmar	b, c	9	2,0	1,4	Lebeuf, données inédites
ESLsup	b	6	34,1	31,0	Dalcourt <i>et al.</i> 1992
Mexique	b	14	0,15	0,09	Carvalho <i>et al.</i> 2009
Corée sud	b	10	2,55	3,39	Oh <i>et al.</i> 2003
EU-Alaska	c	7	5,04	1,9	Len-Gil <i>et al.</i> 1997
France	c	7	138	87	Roche <i>et al.</i> 2009
Sédiments <sup>3</sup>			(ng/g sec)		
IDLM	m	7	0,30	0,15	Cette étude
GSL	m	25	2,31	2,31	Lebeuf, données inédites
ESLmar	m	4	13,75	7,5	Lebeuf <i>et al.</i> 2005
ESLsup	m	7	19,96	6,18	Dalcourt <i>et al.</i> 1992
Mexique	m	13	0,09	0,06	Carvalho <i>et al.</i> 2009
EU-Alaska	d	4	0,12	0,05	Len-Gil <i>et al.</i> 1997
Italie	m	13	0,97	1,20	Pozo <i>et al.</i> 2009
Canada-TNO	d	5	7,18	4,5	Kidd <i>et al.</i> 1998

<sup>1</sup>IDML=Îles-de-la-Madeleine, GSL=Golfe du Saint-Laurent, ESLmar=Estuaire maritime du Saint-Laurent, ESLsup=Estuaire supérieur du Saint-Laurent, <sup>2</sup>b=bivalves c=crustacés, <sup>3</sup>m=sédiments marins d=sédiments d'eau douce

Les concentrations de BPC dans les organismes et les sédiments récoltés aux IDML et ceux provenant d'autres secteurs du Saint-Laurent marin, incluant l'estuaire supérieur, l'estuaire maritime ainsi que le golfe du Saint-Laurent, indiquent que la contamination en BPC dans les échantillons provenant des IDML est parmi les plus faibles (Tableau 3). Lorsque la comparaison des niveaux inclut des sites isolés de sources ponctuelles de contamination et des réserves écologiques, les conclusions demeurent les mêmes; les échantillons provenant des IDLM demeurent parmi les moins contaminés. Il est cependant nécessaire d'interpréter les résultats de ces comparaisons avec précaution car plusieurs facteurs, non-contrôlés dans le présent exercice, peuvent influencer les niveaux de BPC présents dans les échantillons. Par exemple, le type et l'âge des organismes en

plus du contenu lipidique des tissus ainsi que la granulométrie et le contenu en matière organique des sédiments sont des paramètres qui influencent les concentrations de BPC accumulées dans ces matrices environnementales. De plus, les concentrations de BPC ( $\Sigma$ BPC) présentées au Tableau 3 ont été obtenues en considérant un nombre variables de congénères d'une étude à l'autre. Il faut aussi noter que les concentrations totales de BPC dans les matrices environnementales (biote et sédiments) éloignées de sources ponctuelles sont représentées à plus de 70% par un nombre restreint de congénères, environ 25, analysés par presque toutes les méthodes analytiques utilisées au cours des 10-20 dernières années. Ce biais est généralement faible car les principaux congénères sont systématiquement mesurés, représentant plus de 70% des BPC totaux (Hobbs *et al.* 2002).

### 3.2 PATRONS DE BPC

En complément à la comparaison des niveaux de BPC entre les échantillons provenant des sites exposés et ceux des sites témoins, une comparaison des patrons de BPC entre les deux catégories de sites permet d'évaluer, et de quantifier s'il y a lieu, la contribution en BPC provenant des sacs de mazout enfouis dans les dunes des IDLM.

Le patron de BPC de chaque échantillon a été calculé en regroupant les congénères des différents groupes homologues (Annexe 3) et en normalisant les concentrations obtenues sur la base de la somme des congénères de BPC présents dans l'échantillon. Ainsi, le patron de BPC de chaque échantillon est représenté par une proportion, rapportée en pourcentage, des groupes homologues di-(Di), tri-(Tr), tetra-(Te), penta-(Pe), hexa-(Hx), hepta-(Hp), octa-déca-(Oc-De) chloro biphényles.

#### 3.2.1 Boulettes de mazout et Aroclor 1242

L'analyse chimique des BPC dans l'échantillon de boulettes de mazout et de sable a permis de déterminer les proportions des différents groupes homologues (Figure 5). On peut noter que le patron de BPC de chacun des réplicats d'analyses montre des proportions très similaires. De plus, le patron de BPC dans l'échantillon de boulettes de mazout et de sable est considéré représentatif du patron de BPC du mazout puisque les teneurs en BPC dans le sable est faible, voire négligeable, par rapport à celles des boulettes de mazout (GCC 2009).

Tel qu'attendu, le patron de BPC dans les boulettes de mazout est très semblable à celui rapporté dans le mélange Aroclor 1242 (Figure 5). Les proportions de BPC pour l'Aroclor 1242 proviennent d'Erikson (1992). On note cependant une proportion de Di et de Te-CB dans l'échantillon de boulettes de mazout qui semble respectivement inférieure et supérieure aux proportions du mélange Aroclor 1242. Des différences de patron de BPC entre les boulettes de mazout et le mélange Aroclor 1242 peuvent s'expliquer par une perte de congénères de BPC, normalement les moins substitués, par lessivage lors du



transport de mazout vers les IDLM ou par la variabilité dans la proportion des congénères lors de la préparation du mélange technique.

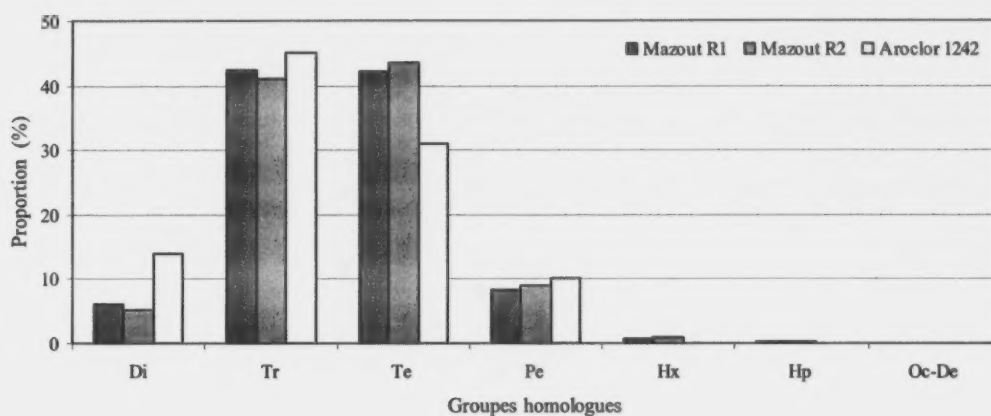


Figure 5. Patrons de BPC selon les différents groupes homologues dans l'échantillon de boulettes de mazout et de sable (réplicats R1 et R2) ainsi que la proportion des congénères de BPC dans le mélange technique *Aroclor* 1242 rapportée par Erikson (1992).

L'analyse en composantes principales (ACP) permet de distribuer les différents échantillons analysés selon un nombre restreints d'axes en fonction de leurs patrons de BPC (Figure 6). Ainsi, plus de 80% de la variabilité des patrons de BPC observés entre les échantillons est expliquée par les deux principales composantes (axes) générées par l'analyse. On observe à la Figure 6A que les patrons de BPC des boulettes de mazout et du mélange *Aroclor* 1242 sont similaires. Les principaux groupes homologues (vecteurs) qui caractérisent les patrons des boulettes de mazout et du mélange *Aroclor* 1242, sont les groupes Di, Tr et Te-CB (Figure 6B). On peut également constater que les groupes homologues Di et Te-CB contribuent à distinguer entre eux les patrons de BPC respectifs au mélange *Aroclor* 1242 à celui des boulettes de mazout. Ces distinctions entre les patrons de boulettes de mazout et de mélange *Aroclor* 1242 correspondent aux différences de patrons de BPC observées entre ces échantillons rapportés à la Figure 5.

### 3.2.2 Organismes

La répartition (moyenne  $\pm$  écart-type) des différentes espèces d'organismes étudiés est présentée à la Figure 6A selon les deux principales composantes de l'ACP. Pour cet exercice, les organismes d'une même espèce prélevés aux sites exposés ont été regroupés avec ceux des sites témoins. On observe que la variabilité des patrons de BPC des individus à l'intérieur du même groupe d'organismes, représenté par les barres d'erreur, est restreinte. En distinguant les organismes des sites exposés de ceux des sites témoins et en répétant l'ACP, les résultats n'indiquent aucune différence significative de patron de BPC pour chacune des espèces d'organismes selon les deux types de sites. Des patrons de

BPC indistincts entre les échantillons provenant des sites témoins et exposés suggèrent que la principale source de contamination par les BPC est commune. Cette source est vraisemblablement diffuse et pourrait principalement être d'origine atmosphérique.

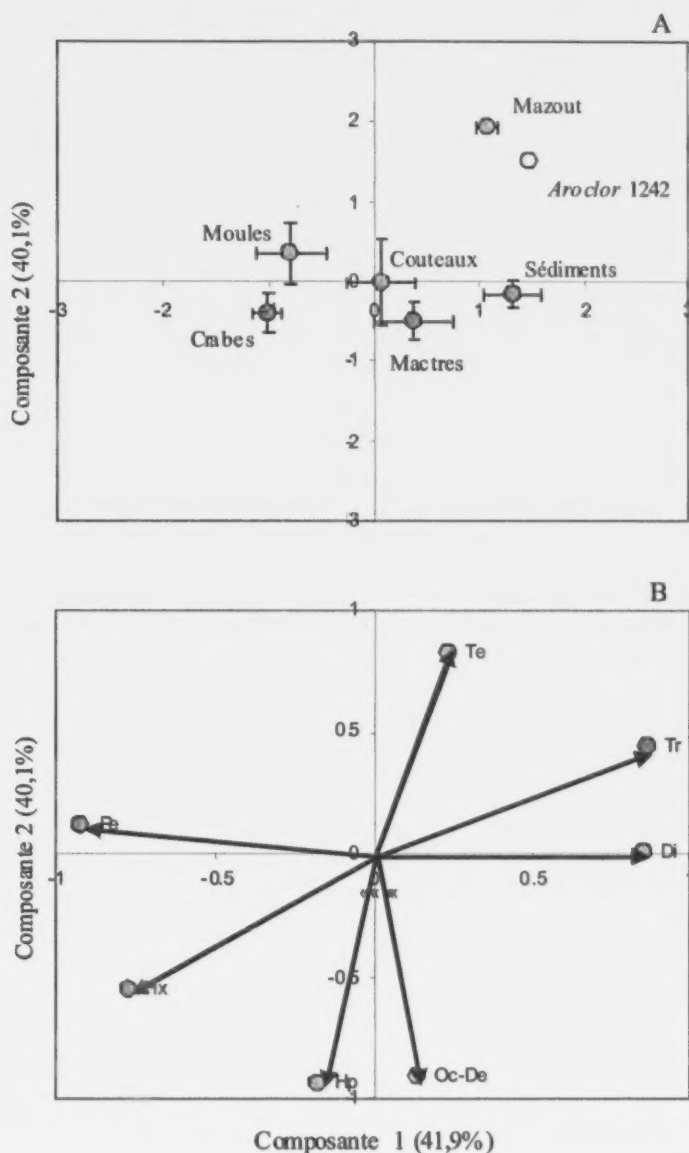


Figure 6. Répartition (A) des différents types d'échantillons analysés (moyenne  $\pm$  écart-type), toutes origines confondues, selon les deux principales composantes (axes) de l'ACP. Les proportions des congénères de BPC pour l'Aroclor 1242 proviennent d'Erikson (1992). Vecteurs (B) des différents groupes homologues expliquant la répartition des échantillons selon les deux principales composantes.

Les quatre espèces d'organismes examinées se distinguent entre elles par leur patron de BPC sauf dans le cas des mactres et des couteaux (Figure 6A). En effet, on note un recouvrement de la répartition, délimitée par les barres d'erreur, entre les mactres et les couteaux selon les deux principales composantes de l'ACP. Chez les organismes filtreurs examinés, on observe une contribution prédominante des groupes homologues de BPC contenant moins d'atomes de chlore, notamment les Di, Tr et Te-CB (Figure 6B). Par comparaison, le patron des crabes est enrichi en BPC de groupes homologues contenant 5, 6 ou 7 atomes de chlore, ce qui est typique des organismes se situant à un niveau trophique supérieur et dont l'alimentation est variée (Figure 6B). Le patron de BPC distinct du crabe commun peut possiblement s'expliquer par sa capacité accrue d'éliminer des congénères de BPC les moins substitués ou par son alimentation détritivore pouvant incorporer des organismes de différentes origines exposés à différentes sources de BPC. Les patrons de BPC retrouvés dans tous les organismes examinés sont nettement distincts du patron de BPC des boulettes de mazout, lequel représente la source potentielle de BPC aux sites exposés. Ces résultats indiquent que les BPC mesurés dans les organismes et représentatifs des boulettes de mazout sont en proportions négligeables par rapport aux autres BPC dont les sources semblent diffuses.

### 3.2.3 Sédiments

Tout comme pour les organismes, les sédiments marins provenant des sites exposés ainsi que ceux des sites témoins sont regroupés par l'ACP. Ainsi, ces résultats montrent que la contamination des sédiments par les BPC n'est pas liée à l'origine des échantillons.

Les échantillons de sédiments récoltés aux IDLM montrent des patrons de BPC distincts de ceux des organismes et des boulettes de mazout (Figure 6A). Les sédiments marins possèdent une plus grande proportion de congénères contenant peu d'atomes de chlore, notamment le groupe homologue Di-CB (Figure 6B). Les différences de patrons de BPC entre les types d'échantillons examinés dépendent vraisemblablement de leur capacité à éliminer les BPC. Ainsi, les sédiments peuvent accumuler les BPC mais n'ont pas la capacité qu'ont les organismes de les éliminer, notamment les congénères les moins substitués. Cette différence de capacité à éliminer les BPC pourrait expliquer que le patron de BPC dans les sédiments se distingue de ceux des espèces d'organismes filtreurs examinées même si ils sont soumis aux mêmes sources de contamination.

## 3.3 RECOMMANDATIONS SUR LES CONCENTRATIONS EN BPC DANS LES SÉDIMENTS ET LES ORGANISMES

Les BPC sont reconnus comme des polluants organiques persistants à l'échelle mondiale. Bien que leur production soit interdite en Amérique du nord et les usages restreints, les BPC demeurent omniprésents dans notre environnement. Les produits contenant des BPC sont sujets à plusieurs restrictions quant au transport et leur élimination. De plus, les sites contaminés par les BPC font l'objet de mesures de décontamination lorsqu'ils continuent de présenter des risques importants pour l'environnement et la santé humaine.



Au Canada, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) recommande des valeurs maximales de concentrations de BPC à ne pas dépasser dans les matrices environnementales afin d'éviter de nuire aux écosystèmes marins et d'eau douce. Ces valeurs limites ont été déterminées sur la base de tests de toxicité d'espèces sensibles. En ce qui concerne le risque pour la santé humaine associé à l'exposition aux BPC présents dans les aliments, c'est l'Agence canadienne des inspections des aliments (ACIA) qui a la responsabilité d'établir les lignes directrices.

### 3.3.1 Qualité des sédiments

Le CCME (2001b) a émis une recommandation provisoire de 21,5 ng de BPC/g de sédiment sec pour conserver la qualité des sédiments marins et ainsi protéger la vie aquatique. Les concentrations de BPC mesurées dans les sédiments aux IDLM sont en moyenne de  $0,298 \pm 0,150$  ng/g sec, soit 72 fois plus faibles que la concentration recommandée par le CCME (Figure 7).

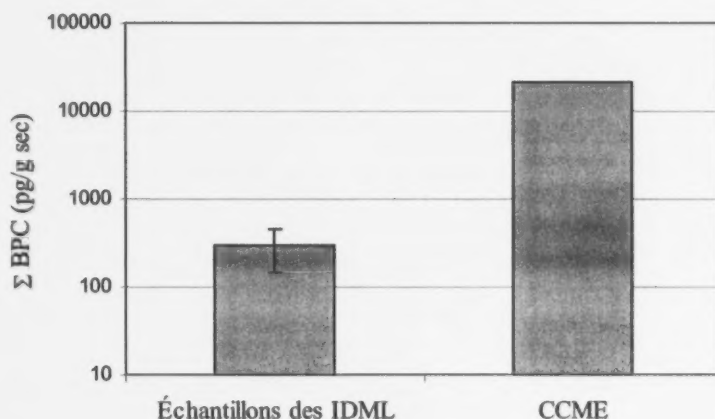


Figure 7. Concentrations moyennes ( $\pm$  écart-type) de  $\Sigma$ BPC (ng/g sec) dans les échantillons de sédiments récoltés aux IDLM et concentration maximale de BPC dans les sédiments marins recommandée (provisoirement) par le CCME (2001b) pour protéger la vie aquatique.

### 3.3.2 Qualité des proies consommées par des espèces fauniques

Le CCME n'a pas établi de critère de contamination en BPC visant à protéger les organismes aquatiques. Cependant, il a émis une recommandation pour la qualité des proies consommées par les espèces fauniques.

Le CCME (2001a) recommande que les BPC dans les proies des prédateurs de hauts niveaux trophiques, notamment les mammifères et les oiseaux, ne dépassent pas les concentrations respectives de 0,79 et 2,4 pg ET/g humide. Le concept d'équivalents toxiques (ET) s'appuie sur la capacité de certains congénères de BPC à lier le récepteur Ah (aryl hydrocarbon) dans une étape initiale de son mode de toxicité. Le composé le plus actif à cet égard est la molécule 2,3,7,8 tétrachlorodibenzo-*p*-dioxine. Ainsi, les concentrations en équivalents toxiques sont rapportées en référence à cette molécule. Pour chiffrer la toxicité des BPC dans un échantillon en équivalents toxiques, on multiplie la concentration de chaque BPC par son facteur d'équivalent toxique (FET) et l'on fait la somme de tous les produits obtenus. Douze congénères de BPC possèdent un FET (Annexe 3) et peuvent ainsi contribuer à la concentration en ET d'un échantillon.

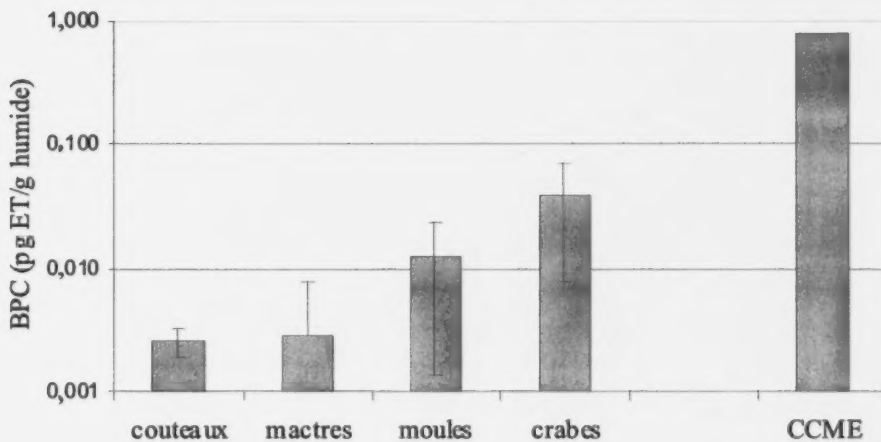


Figure 8. Concentrations moyennes ( $\pm$  écart-type) de BPC (pg d'équivalent toxique (ET)/g humide) dans les échantillons d'organismes aquatiques récoltés aux IDLM et concentration maximale dans les proies recommandée par le CCME (2001a) afin de protéger les mammifères consommant le biote aquatique.

Les valeurs de concentrations en BPC ont été calculées pour chaque espèce d'organismes examinés, c'est-à-dire pour chaque proie potentielle, et rapportées en ET à l'Annexe 4 selon le prédateur ciblé, soit les mammifères ou les oiseaux. Les concentrations moyennes de BPC mesurées dans les organismes sont au moins 20 fois plus faibles que la concentration maximale dans les proies recommandée par le CCME (2001a) afin de protéger les mammifères consommant le biote aquatique (Figure 8). Les concentrations de BPC en ET dans les proies des mammifères sont calculées à partir des FET proposés par le CCME (2001a) et rapportées à l'annexe 3. Il est cependant pertinent de noter que depuis la mise à jour du document du CCME (2001a) en 2001, le FET de certains congénères de BPC pour les mammifères ont été mis à jour (van den Berg *et al.* 2006). Toutefois, les calculs des concentrations de BPC en ET des proies à partir des plus récentes valeurs de EF ne changent pas l'estimation du risque encouru par les mammifères de subir des effets néfastes. Les concentrations moyennes en BPC mesurées dans les organismes sont entre 7 et 68 fois plus faibles que la valeur maximale dans les

proies recommandée par le CCME (2001a) afin de protéger les oiseaux consommant le biote aquatique (Figure 9).

Pour évaluer adéquatement la qualité des proies, il aurait été préférable d'analyser l'ensemble des tissus de l'organisme consommé par les prédateurs. Dans le cas des mollusques, couteaux, mactres et moules, l'homogénat tissulaire analysé est une bonne représentation de ce qui est consommé par les prédateurs. Dans le cas particulier des crabes, le tissu analysé s'est limité au muscle des pattes et pinces. Ce tissu est plus pauvre en lipides que l'hépatopancréas et par conséquent moins contaminé en BPC. Sur la base des données disponibles sur la contamination en BPC des tissus des pattes et pinces et de l'hépatopancréas du crabe des neiges, et de la proportion de ces tissus chez cet animal, on estime que les concentrations de BPC d'un homogénat de tissus consommables du crabe commun par les prédateurs fauniques serait environ 3 fois supérieures aux valeurs des muscles des pattes et pinces. Si on applique ce facteur aux valeurs de BPC rapportées en ET dans les pattes et pinces du crabe commun (annexe 5), les concentrations moyennes de BPC (ET) des tissus du crabe commun consommés par les prédateurs demeurent inférieures à la valeur maximale recommandée par le CCME (2001a) pour les mammifères et les oiseaux.

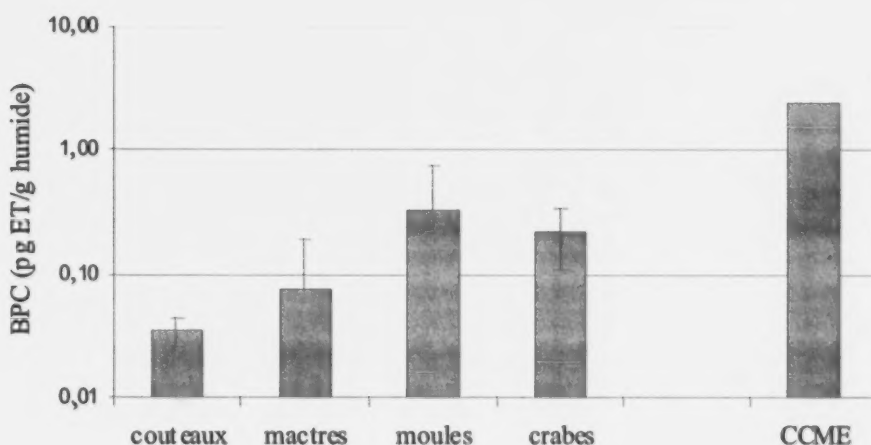


Figure 9. Concentrations moyennes ( $\pm$  écart-type) de BPC (pg d'équivalent toxique (ET)/g humide) dans les échantillons d'organismes aquatiques récoltés aux IDLM et concentration maximale dans les proies recommandée par le CCME (2001a) afin de protéger les oiseaux consommant le biote aquatique.

### 3.3.3 Qualité des poissons et sous-produits pour fins de consommation humaine

En 1990, l'Agence canadienne de l'inspection des aliments (ACIA 1999) a établi une règle concernant la concentration maximale de BPC tolérée dans les parties comestibles

des poissons et de ses sous-produits à 2000 ng de BPC/g de tissus frais (2,0 ug/g humide). On considère que cette valeur s'applique également aux mollusques. Bien que cette valeur soit actuellement en révision depuis 2009, l'ACIA (1999) continue d'utiliser cette valeur pour vérifier la qualité des poissons et de ses sous-produits pour fins de consommation humaine au Canada.

Les concentrations de BPC mesurées dans les organismes récoltés aux IDLM sont nettement plus faibles que la valeur de 2000 ng de BPC / g de tissus humide (Figure 10). Ainsi, les concentrations de BPC dans les couteaux et les mactres sont environ 5000 fois moins élevées que la valeur maximale tolérée alors que les moules et les muscles des pattes de crabes sont plus de 1000 fois inférieures à cette valeur. Considérant l'écart entre les niveaux de BPC mesurés dans les organismes récoltés aux IDLM et la concentration maximale des BPC recommandée par ACIA, il appert que la consommation de ces organismes ne comporte aucun risque pour la santé humaine.

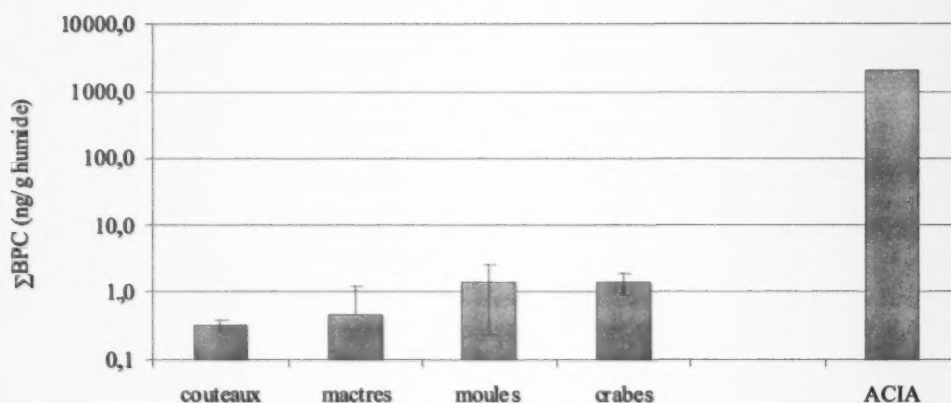


Figure 10. Concentrations moyennes ( $\pm$  écart-type) de  $\Sigma$ BPC (ng/g humide) dans les échantillons d'organismes aquatiques récoltés aux IDLM et concentration maximale recommandée par l'Agence canadienne de l'inspection des aliments (ACIA) dans les poissons et ses sous-produits pour fins de consommation humaine au Canada.

#### 4.0 CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude indiquent que les concentrations et les patrons de BPC dans les échantillons côtiers récoltés à proximité des sites contenant des sacs de mazout enfouis dans les dunes ne sont pas significativement différents de ceux des échantillons provenant des sites témoins. Par conséquent, il n'y a pas d'évidence scientifique supportant l'hypothèse que les sacs de mazout enfouis dans les dunes de sable des IDLM constituent une source identifiable de BPC pour les organismes et sédiments marins côtiers.

Les concentrations de  $\Sigma$ BPC dans les organismes et les sédiments marins côtiers récoltés aux IDLM sont parmi les plus faibles rapportées dans la littérature scientifique. Sur la base des valeurs maximales recommandées par le CCME (1999 a,b), les concentrations de BPC mesurées dans les échantillons analysés n'ont pas d'impact sur les organismes exposés aux sédiments, ou sur les mammifères et les oiseaux consommateurs de biote aquatique. De plus, selon les directives de l'ACIA (1990) et les concentrations de  $\Sigma$ BPC mesurées dans les tissus des organismes examinés, leur consommation ne présente pas de risque pour la santé humaine.

## 5.0 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Cyril Aubry et Le Repère du Plongeur Inc. (équipe de Mario Deraspe) pour la récolte des échantillons ainsi que Denis Guay (GCC) pour l'échantillon de boulettes de mazout provenant des dunes de l'ouest. La préparation de la mission et des échantillons pour les analyses chimiques a été réalisé avec soin et diligence par Cyril Aubry et Brigitte Desrosiers. Merci à Andrew Ross du Laboratoire d'Expertise en Analyse Chimique Aquatique (LEACA) de Pêches et Océans Canada (MPO) pour le dosage des BPC dans les échantillons. Merci à Gilles Fortin du MPO pour la préparation de la carte. Les auteurs remercient également Claire Laliberté de l'Institut national de santé publique, Claude Laliberté du Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec et France Boily éditrice du rapport, pour leurs commentaires judicieux.

## 6.0 BIBLIOGRAPHIE

ACIA (Agence canadienne d'inspection des aliments) 1990. Manuel des normes et des méthodes des produits du poisson. Annexe 3, lignes directrices sur les contaminants chimiques du poisson et des produits du poisson au Canada, mis à jour en 2009. 153 p. <http://www.inspection.gc.ca/francais/fssa/fispoi/man/samnem/smnmallf.pdf> consulté en novembre 2010.

Ages, A. 1971. Oil reconnaissance in the Magdalen Islands – 1970. Atlantic Oceanography Laboratory, Rapport AOL 1971-8. 22p.

Carvalho, F.P., Villeneuve, J.-P., Cattini, C., Rendón, J. and Mota de Oliveira J. 2009. Pesticide and PCB residues in the aquatic ecosystems of Laguna de Terminos, a protected area of the coast of Campeche, Mexico. *Chemosphere* 74 : 988-995.

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement) 1989. Guide pour la gestion des déchets contenant des biphényles polychlorés (BPC). CCME-TS/WM-TRE008 Manuel SPE9/HA/1 (révisé) 126p. [http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn\\_1009\\_fr.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1009_fr.pdf) consulté en novembre 2010.

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement) 2001a. Recommandations canadiennes pour les résidus dans les tissus : protection des espèces fauniques consommant le biote aquatique – les biphényles polychlorés (BPC), mis à jour, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, 1999, Winnipeg, le Conseil. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/fr/207/> consulté en novembre 2010.

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement) 2001b. Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique – Biphényles polychlorés (BPC), mis à jour, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de*



*l'environnement*, 1999, Winnipeg, le Conseil. <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/fr/156/> consulté en novembre 2010.

CIL (Cambridge Isotope Laboratory) 2006. Certificate of Analysis. Clean fish Reference Material EDF-2524. 4 p.

Dalcourt, M.-F., Béland, P., Pelletier, É. et Vigneault, Y. 1992. Caractérisation des communautés benthiques et étude des contaminants dans les aires fréquentées par le béluga du Saint-Laurent. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1845: vii + 86p.

Erickson, M.D. 1992. Analytical chemistry of PCBs, Lewis Publishers, Boca Raton Floride. 508p.

GCC (Garde côtière canadienne) 2009. Bilan des interventions de récupération de sacs menées entre 1996 et 2009 par la Garde côtière canadienne aux Îles-de-la-Madeleine, Québec. Cas de pollution de l'*Irving Whale*. Intervention environnementale, région du Québec. Document de travail. 26p.

GCC (Garde côtière canadienne) 2011. Plan d'action visant l'actualisation de la stratégie d'intervention en matière de gestion des sacs enfouis dans les dunes des Îles-de-la-Madeleine – Cas de pollution suite au naufrage de l'*Irving Whale* survenu en 1970. Intervention environnementale, région du Québec. Document de travail. 83p.

Gilbert, M., Alexander, R., Arseneault, J., Ernst, W.R., Fairchild, W., Hennigar, P., Julien, G., King, T., Lebeuf, M. et Lefavre, D. 1998. Contamination par les BPC des sédiments et du crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) aux environs du site du naufrage de la barge *Irving Whale* après son renflouage. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2204 : x + 32p.

Kidd, K.A., Hesslein, R.H., Ross, B.J., Koczanski, K., Stephens, G.R. and Muir, D.C.G. 1998. Bioaccumulation of organochlorines through a remote freshwater food web in the Canadian Arctic. Environ. Pollut. 102 : 91-103.

Lambert, J.D. et Ménager, B. 1998. Protocoles d'échantillonnage des captures commerciales de poissons et d'invertébrés marins du golfe du Saint-Laurent. Rapp. tech. can. sci. halieut. Aquat. 2208 : x + 246p.

Lebeuf, M. and Nunes, T. 2005. PCBs and OCPs in sediment cores from the Lower St. Lawrence Estuary, Canada: evidence of fluvial inputs and time lag in delivery to coring sites. Environ. Sci. Technol. 39 : 1470-1478.

Len-Gil, S.M., Gubala, C.P., Wilson, R., Landers, D.H., Wade, T.L., Sericano, J.L. and Curtis L.R. 1997. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediments and biota from four US Arctic lakes. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 33 : 378-387.

Oh, J.R., Ikonomou, M.G., Fernandez, M.P. and Hong, S.-H. 2003. PCB and PCDD/F totals, TEQS, and congener patterns in Korean coastal marine environments, 1987, 1988, 1990, and 1996-1999." *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 44 : 224-236.

Pozo, K., Lazzerini, D., Perra, G., Volpi, V., Corsolini, S. and Focardi S. 2009. Levels and spatial distribution of polychlorinated biphenyls (PCBs) in superficial sediment from 15 Italian Marine Protected Areas (MPA). *Mar. Pollut. Bull.* 58 : 773-776.

Roche, H., Vollaire, Y., Persic, A., Buet, A., Oliveira-Ribeiro, C., Coulet, D. Banas, E. and Ramade F. 2009. Organochlorines in the Vaccarès Lagoon trophic web (Biosphere Reserve of Camargue, France). *Environ. Pollut.* 157 : 2493-2506.

van Bavel, B. 2002. Final report seventh round of international intercalibration study. Umeå University, Umeå, Sweden. 7p.

van Bavel, B. 2003. Final report eight round of international intercalibration study. Umeå University, Umeå, Sweden. 8p.

van den Berg, M., Birnbaum, L.S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M. Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N. and Peterson R.E. 2006. The 2005 World Health Organization reevaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds. *Toxicol. Sci.* 93 : 223-241.



# ANNEXE 1. LOCALISATION DE STATIONS ÉCHANTILLONNÉES AUX CINQ SITES VISITÉS

Site / Station	Latitude	Longitude	Profondeur (pied)	Date	Heure d'arrivée	Heure de départ	Type de fond	Échantillons: récoltés
<b>Site 1</b> Anse au plâtre Dune du havre aux Basques								
Station 1	N 47°14,469'	O 61°51,562'	10	24 mai 2009	13 h 35	14 h 30	sable et roche	Crabes Moules Sédiments
Station 4	N 47°16,813'	O 61°55,296'	6	24 mai 2009	15 h 10	15 h 42	sable	Couteaux Sédiments
<b>Site 2</b> Île aux Goélants Dune de l'Ouest								
Station 1	N 47°21,549'	O 61°58,087'	16 à 21	24 mai 2009	17 h 10	18 h 00	sable et roche	Crabes Moules Couteaux Sédiments

# ANNEXE 1, suite.

Site / Station	Latitude	Longitude	Profondeur (pied)	Date	Heure d'arrivée	Heure de départ	Type de fond	Échantillons: récoltés
Site 3 Cap de l'hôpital Dune du Nord								
Station 1	N 47°25,571'	O 61°53,566'	22	25 mai 2009	15 h 00	15 h 35	sable et roche	Crabes Moules Sédiments
Station 2	N 47°25,470'	O 61°53,463'	26	25 mai 2009	15 h 40	15 h 47	sable et roche	Couteaux Sédiments
Station 4	N 47°25,569'	O 61°53,072'	20	25 mai 2009	16 h 00	16 h 20	sable et roche	Crabes Couteaux
Station 5	N 47°25,903'	O 61°52,064'	18	25 mai 2009	16 h 23	16 h 33	sable	Crabes Mactres
Station 6	N 47°26,423'	O 1°51,396'	20	25 mai 2009	16 h 36	16 h 50	sable	Mactres Sédiments
Site 4 Pointe-aux-Loups Dune du Nord								
Station 1	N 47°32,096'	O 61°43,307'	35	25 mai 2009	17 h 15	17 h 50	sable et roche	Crabes Moules
Station 3	N 47°32,439'	O 61°42,232'	20	25 mai 2009	18 h 03	18 h 13	sable	Mactres Sédiments
Station 4	N 47°32,125'	O 61°42,849'	18	25 mai 2009	18 h 15	18 h 27	sable et roche	Crabes Sédiments

ANNEXE 1, suite.

Site / Station	Latitude	Longitude	Profondeur (pied)	Date	Heure d'arrivée	Heure de départ	Type de fond	Échantillons: récoltés
Site 5 Cap noir Dune du Sud								
Station 1 (1er plongeur)	N 47°25,230'	O 61°44,776'	20	25 mai 2009	20 h 10	20 h 30	sable et roche	Crabes Moules Sédiments
Station 2 (2ème plongeur)	N 47°25,230'	O 61°44,916'	20	25 mai 2009	20 h 10	20 h 30	sable et roche	Crabes Mactres Sédiments

**ANNEXE 2. CARACTÉRISTIQUES DES ORGANISMES REGROUPÉS AFIN DE CONSTITUER LES ÉCHANTILLONS COMPOSITES ANALYSÉS. LES MESURES STANDARDS DES ORGANISMES ONT ÉTÉ EFFECTUÉES SELON LE PROTOCOLE DE LAMBERT ET MÉNAGER (1998)**

Espèce	Site	Échantillon n°	Identification	Largeur Carapace (mm)	Partie Manquante
Crabes	1	2	1	113	1 patte
			2	99	
			3	119	
			4	124	
		Moyenne		114	
		Écart-type		10,8	
	2	3	1	114	
			2	120	
			3	133	
		Moyenne		122	
		Écart-type		9,71	
	3	1	1	124	2 pattes, 1 pince
			2	115	
			3	102	
			4	131	
		Moyenne		118	
		Écart-type		12,5	
	3	3	1	126	1 patte
			2	121	
			3	125	
			4	113	
		Moyenne		121	
		Écart-type		5,91	

**ANNEXE 2, suite.**

Espèce	Site	Échantillon n°	Identification	Largeur Carapace (mm)	Partie Manquante
Crabe	4	1	1	123	
			2	119	
			3	132	
		Moyenne Écart-type		124	
				6,66	
	5	1	1	129	
			2	108	
			3	107	
			4	118	
		Moyenne Écart-type		116 10,3	
	5	3	1	134	
			2	116	
			3	111	
			4	121	
		Moyenne Écart-type		121 9,88	

ANNEXE 2, suite.

Espèce	Site	Échantillon n°	Identification	Longueur (mm)	largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Poids total (g)	Poids extrait (g)
Moule	1	2	1	78			79,8	8,5
			2	88			82,8	9,6
			3	82			64,7	4,5
			4	68			45,6	4,3
		Moyenne Écart-type		79			68,2	6,72
				8,41			17,0	2,72
		3	1	93			110	11
			2	82			72,9	9,3
			3	80			53	6,7
			4	72			46,1	6,3
		Moyenne Écart-type		81,8			70,4	8,33
				8,66			28,5	2,22
	2	1	1	73	40	33	49,1	6,8
			2	83	46	38	83,9	9,4
			3	75	40	39	82,7	5,9
			4	87	44	42	80,4	10,6
		Moyenne Écart-type		79,5	42,5	38,0	74,0	8,18
				6,61	3,00	3,74	16,7	2,19
	3	1	1		35	49	119	6,8
			2		44	35	65	8,1
			3		47	39	100	8
			4		45	42	98,8	10,8
		Moyenne Écart-type			42,8	41,3	95,9	8,43
					5,32	5,91	22,6	1,69



**ANNEXE 2, suite.**

Espèce	Site	Échantillon n°	Identification	Longueur (mm)	largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Poids total (g)	Poids extrait (g)
Moule	4	1	1	88	46,5	49	132	12,0
			2	58	32	27	26,6	4,1
			3	67	39	31	42,8	6,35
			4	88	45	51	117	12,9
		Moyenne Écart-type		75,3	40,6	39,5	79,6	8,83
				15,2	6,60	12,3	52,6	4,27
		2	1	71	38	39	49,9	7,9
			2	78	43	51	84,3	8,0
			3	86	42	51	120	10,5
			4	72	42	32	53,8	7,7
		Moyenne Écart-type		76,8	41,3	43,3	77,1	8,53
				6,90	2,22	9,39	32,6	1,32
	5	2	1	85,2	45,6	40,3	96,6	26,4
			2	85,9	40,8	43,7	81,0	13,8
			3	79,5	41,2	35,0	75,4	20,5
			4	82,6	40,0	39,8	100	22,1
		Moyenne Écart-type		83,3	41,9	39,7	88,4	20,7
				2,91	2,53	3,60	12,0	5,24

ANNEXE 2, suite.

Espèce	Site	Échantillon n°	Identification	Longueur (mm)	largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Poids total (g)	Poids extrait (g)
Couteau	1	1	1	95	15	9,8		
			2	104	17	11,6		
			3	100	17	11,6		
			4	94	16	10,5		
			5	90	15	11,1		
			6	83	14	10,2		
			7	106	18	12,8		
		Moyenne		96,0	16,0	11,1		
		Écart-type		8,06	1,41	1,02		

Seconde série de mesures du groupe d'échantillons précédents. L'identification des individus ne correspond pas à celle de la première série de mesures.

1	1	1	1	102			16,1	6,3
			2	93			10,5	3,6
			3	97			14,1	4,7
			4	84			6,9	2,9
			5	104			16,8	6,2
			6	89			10,2	3,1
			7	94			10,6	4,3
	2	1		94,7			12,2	4,44
				7,02			3,59	1,39
	1	2	1	111	16	12,7		
			2	85	14	9,8		
			3	92	15	11,1		
			4	95	15	11,6		
			5	92	14	10,4		
			6	109	18	13,3		
			7	96	16	11,8		
		Moyenne		97,1	15,4	11,5		
				9,48	1,40	1,23		

# ANNEXE 2, suite.

Espèce	Site	Échantillon n°	Identification	Longueur (mm)	largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Poids total (g)	Poids extrait (g)
Seconde série de mesures du groupe d'échantillons précédents. L'identification des individus ne correspond pas à celle de la première série de mesures.								
Couteau	1	2	1	110			16,5	6,4
			2	95			12,4	5,1
			3	110			16,5	7,1
			4	87			9,2	4
			5	92			11,4	3,9
			6	92			11,2	5
			7	95			12,9	4,7
			Moyenne	97,3			12,9	5,17
			Écart-type	9,09			2,74	1,19
	2	1	1	163			56,9	19,9
			2	172			62	20,7
			3	156			52	18,7
			Moyenne	164			57,0	19,8
			Écart-type	8,02			5,00	1,01
	2	2	1	166			65,6	27,8
			2	149			47,8	20,7
			3	161			63,2	20,75
			Moyenne	159			58,9	23,0
			Écart-type	8,74			9,66	4,13
	3	1	1	156			49,9	21,8
			2	133			28,5	11
			3	138			34,9	16,1
			Moyenne	142			37,8	16,3
			Écart-type	12,1			11,0	5,40

ANNEXE 2, suite.

Espèce	Site	Échantillon n°	Identification	Longueur (mm)	largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Poids total (g)	Poids extrait (g)
Mactre	3	1	1	128			363	66,3
			2	126			374	71,0
			3	122			286	62,0
		Moyenne Écart-type		125			341	66,4
				3,06			48,0	4,50
		4	1	128			395	59,9
				126			327	50,6
				135			393	50,5
			Moyenne Écart-type	130			372	53,7
				4,73			38,7	5,40
	4	2	1	131			392	59,4
			2	132			395	70,1
			3	138			406	55,9
		Moyenne Écart-type		134			398	61,8
				3,79			7,37	7,40
	5	1	1	114				49,1
			2	118			259	43,3
			3	124			298	43,6
		Moyenne Écart-type		119			279	45,3
				5,03			27,6	3,27
	5	2	1	119			261	58,8
			2	120			314	46,7
			3	122			268	48,0
		Moyenne Écart-type		120			281	51,2
				1,53			28,8	6,65

**ANNEXE 3. LISTE DES CONGÉNÈRES INDIVIDUELS DOSÉS DANS LES ÉCHANTILLONS ET LEUR REGROUPEMENT PAR GROUPES HOMOLOGUES DE BPC AINSI QUE LES CONGÉNÈRES DE BPC ENRICHIS AU CARBONE 13 AJOUTÉS AUX ÉCHANTILLONS. LES CONGÉNÈRES UTILISÉS DANS LE CALCUL DES ÉQUIVALENTS TOXIQUES (ET) DES BPC POUR LES ESPÈCES FAUNIQUES CONSOMMANT LE BIOTE AQUATIQUE ET LEUR FACTEUR D'ET SONT PRÉSENTÉS POUR LES MAMMIFÈRES ET LES ESPÈCES AVIAIRES**

Congénères individuels de BPC regroupés par groupe homologue:

DiCB	TrCB	TeCB	PeCB	HxCB	HpCB	Oc-DeCB
4	16	40	82	128	170	194
5	17	41	83	129	171	195
6	18	42	84	130	172	196
7	19	43	85	131	173	197
8	20	44	86	132	174	198
9	21	45	87	133	175	199
10	22	46	88	134	176	200
11	23	47	89	135	177	201
12	24	48	90	136	178	202
13	25	49	91	137	179	203
14	26	50	92	138	180	204
15	27	51	93	139	181	205
	28	52	94	140	182	206
	29	53	95	141	183	207
	30	54	96	142	184	208
	31	55	97	143	185	209
	32	56	98	144	186	
	33	57	99	145	187	
	34	58	100	146	188	
	35	59	101	147	<b>189</b>	
	36	60	102	148	190	
	37	61	103	149	191	
	38	62	104	150	192	
	39	63	<b>105</b>	151	193	



ANNEXE 3, suite.

Congénères individuels de BPC regroupés par groupe homologue:

DiCB	TriCB	TeCB	PeCB	HxCB	HpCB	Oc-DeCB
		64	106	152		
		65	107	153		
		66	108	154		
		67	109	155		
		68	110	<b>156</b>		
		69	111	<b>157</b>		
		70	112	158		
		71	113	159		
		72	<b>114</b>	160		
		73	115	161		
		74	116	162		
		75	117	163		
		76	<b>118</b>	164		
		77	119	165		
		78	120	166		
		79	121	<b>167</b>		
		80	122	168		
		<b>81</b>	<b>123</b>	<b>169</b>		
			124			
			125			
			<b>126</b>			
			127			

# ANNEXE 3, suite.

## Congénères enrichis au carbone 13 :

<sup>13</sup> CDiCB	<sup>13</sup> CTrCB	<sup>13</sup> CTeCB	<sup>13</sup> CPeCB	<sup>13</sup> CHxCB	<sup>13</sup> CHpCB	<sup>13</sup> COc-DeCB
4	19	52	101	138	180	194
5	37	54	104	155	188	202
9		77	105	156	189	205
		81	114	157		208
			118	167		206
			123	169		209
			126			

## Congénères utilisés pour le calcul des équivalents toxiques et leur facteur d'équivalent toxique (FET) selon le type d'espèce considéré :

Congénère	FET mammifères	FET oiseaux
77	0,001	0,05
81	0,001	0,1
126	0,1	0,1
169	0,01	0,001
105	0,0001	0,0001
114	0,0005	0,0001
118	0,0001	0,00001
123	0,0001	0,0001
156	0,0005	0,0001
157	0,0005	0,0001
167	0,00001	0,00001
189	0,0001	0,00001

**ANNEXE 4. CONCENTRATIONS DE BPC (pg/g tissu humide ou sédiment sec), DANS LES BLANCS DE PROCÉDURE, ÉCHANTILLONS RÉPLICATS ET LES ÉCHANTILLONS DE RÉFÉRENCE**

Blancs de procédure :						
Série analytique	série 1	série 2	série 3	série 4	série 5	série 6
Poids moyen des échantillons de la série (g tissu humide)	18,0	14,0	18,0	37,0	15,0	30,0
Concentration (pg/g tissu humide)						
DiCB	23,2	51,3	12,5	9,8	21,6	9,0
TrCB	22,7	46,1	16,0	14,0	27,3	9,9
TeCB	10,3	20,7	9,8	7,4	13,1	12,8
PeCB	3,9	8,1	7,3	3,1	5,2	2,7
HxCB	7,4	15,6	25,1	5,6	8,2	2,8
HpCB	4,1	9,6	30,8	4,0	5,8	1,5
Oc-DecCB	1,2	2,9	7,3	0,7	0,6	0,1
ΣBPC	72,8	154	109	44,6	81,8	38,8
ET (mammifères)	0,0002	0,0008	0,0004	0,0001	0,0001	0,0008
ET (oiseaux)	0,0335	0,0084	0,0128	0,0143	0,0073	0,0033
Recouvrement moyen (%)						
<sup>13</sup> C -Di	28	44	36	33	54	48
<sup>13</sup> C -Tr	43	58	56	48	61	61
<sup>13</sup> C -Te	61	66	68	65	75	80
<sup>13</sup> C -Pe	77	78	81	80	82	87
<sup>13</sup> C -Hx	84	80	86	82	99	99
<sup>13</sup> C -Hp	87	80	88	81	98	94
<sup>13</sup> C -Oc-De	83	82	84	75	97	87

# ANNEXE 4, suite.

Réplicats :								
Organisme	mactre		crabe		boulettes		mactre	
Site	3		3		N/A		5	
No échantillon	1		3		N/A		2	
Série analytique	1		3		4		5	
Quantité analysée (g tissu humide)	20,7	23,3	13,9	13,2	0,6	0,5	16,1	17,9
Concentration (pg/g tissu humide)								
DiCB	21,1	14,1	10,9	7,3	17491	17562	23,6	35,6
TrCB	31,7	22,4	38,0	35,9	120124	137366	23,2	33,3
TeCB	36,0	31,8	149,6	159,6	119787	145820	26,7	29,9
PeCB	30,1	27,1	328,7	316,4	23709	30391	26,5	34,2
HxCB	31,8	26,3	400,6	416,7	2200	2995	27,4	38,2
HpCB	21,0	15,2	105,7	117,2	349	574	13,8	21,3
Oc-DecCB	7,4	5,4	15,4	18,0	137	161	3,8	8,4
ΣBPC	179	142	1049	1071	283797	334871	145,0	200,9
ET (mammifères)	0,0008	0,0005	0,0129	0,0136	n/a	n/a	0,0007	0,0009
ET (oiseaux)	0,0587	0,0007	0,1418	0,2160	n/a	n/a	0,0310	0,0100
Recouvrement moyen (%)								
<sup>13</sup> C -Di	44	33	41	35	50	34	33	45
<sup>13</sup> C -Tr	62	50	56	51	57	52	43	62
<sup>13</sup> C -Te	68	55	63	61	74	78	57	77
<sup>13</sup> C -Pe	69	66	70	70	82	89	63	81
<sup>13</sup> C -Hx	72	76	75	77	87	96	67	97
<sup>13</sup> C -Hp	62	69	71	72	84	92	60	89
<sup>13</sup> C -Oc-De	66	80	72	75	79	87	63	88

#### ANNEXE 4, suite.

Échantillon de référence CRM EDF2524 :

Matrice	Hareng EDF2524	Hareng EDF2524	Hareng EDF2524	Valeurs moyennes	Valeurs de référence
Série analytique	série 1	série 2	série 3		
Quantité analysée (g tissu humide)	8,08	8,84	8,50		
Concentration* (pg/g tissu humide)					
DiCB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TrCB	346	411	372	376	352
TeCB	1789	2050	1855	1898	1680
PeCB	3248	3599	3431	3426	3511
HxCB	3907	4801	4347	4352	4111
HpCB	1295	1560	14778	1444	1252
Oc-DecCB	205	207	193	202	199
ΣBPC	10789	12628	11674	11697	11104
ET (mammifères)	0,1222	0,1371	0,1306	0,1300	0,2718
ET (oiseaux)	0,8289	0,5769	0,6381	0,6813	1,0288
Recouvrement moyen (%)					
<sup>13</sup> C -Di	54	66	55		
<sup>13</sup> C -Tr	66	75	69		
<sup>13</sup> C -Te	70	76	67		
<sup>13</sup> C -Pe	81	77	80		
<sup>13</sup> C -Hx	95	81	83		
<sup>13</sup> C -Hp	88	74	89		
<sup>13</sup> C -Oc-De	97	73	88		

\*en considérant uniquement les congénères de BPC rapportés pour le CRM



# ANNEXE 4, suite.

Échantillon de référence UMEA A :						
Matrice Identification	sédiments UMEA A (2002/03)	solution dopante (pg) (n=2)	sédiments UMEA A dopé (2002/03)	sédiments UMEA A dopé (2002/03)	sédiments UMEA A (2002/03)	sédiments UMEA A (2002/03)
Série analytique	série 4	série 6	série 6	Valeurs attendues	série 4	Valeurs de référence*
Quantité analysée (g sédiment sec)	1,69		1,41		1,69	
Concentration (pg/g sédiment sec)						
DiCB	8170	62020	58617	52297	0	0
TrCB	15116	154603	131402	125115	0	0
TeCB	25378	284147	238443	227546	695	7211
PeCB	34004	357293	283697	288215	6858	73003
HxCB	49719	295610	284291	260043	1738	18114
HpCB	25821	153235	136841	134846	185	1811
Oc-DecCB	7192	93977	74922	74056	0	0
ΣBPC	165400	1400886	1208213	1162117	9477	100018
Recouvrement moyen (%)						
<sup>13</sup> C -Di	51	79	54			
<sup>13</sup> C -Tr	59	84	64			
<sup>13</sup> C -Te	74	83	76			
<sup>13</sup> C -Pe	83	86	86			
<sup>13</sup> C -Hx	90	97	96			
<sup>13</sup> C -Hp	85	98	92			
<sup>13</sup> C -Oc-De	81	94	77			

\* en considérant uniquement les congénères de BPC rapportés pour le CRM

**ANNEXE 5. CONCENTRATIONS DE BPC ET ÉQUIVALENTS TOXIQUES DANS LES ÉCHANTILLONS DE TISSUS BIOLOGIQUES (pg/g humide), CONCENTRATIONS DE BPC DANS LES SÉDIMENTS (pg/g sec) ET LES BOULETTES DE MAZOUT (pg/g humide)**

Couteau: Site/No échantillon	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1
Série analytique	5	5	5	5	5
Quantité analysée (g tissu humide)	7,65	13,4	14,5	16,7	14,5
% d'eau	81,6	83,1	82,9	81,8	79,9
% lipides	0,63	0,62	0,54	1,06	0,34
Concentration (pg/g tissu humide)					
DiCB	47,7	25,5	27,3	23,7	31,7
TrCB	43,3	32,5	44,2	43,1	34,9
TeCB	50,7	58,8	74,5	82,8	40,6
PeCB	68,2	100,9	85,2	103,9	46,7
HxCB	62,3	96,3	74,4	77,5	41,6
HpCB	23,6	67,2	30,7	21,9	19,1
Oc-DecCB	8,1	18,1	6,9	4,8	4,5
ΣBPC	304	4000	343	358	219
ET (mammifères)	0,0022	0,003	0,0028	0,0033	0,0015
ET (oiseaux)	0,0122	0,0307	0,0451	0,0393	0,0398
Recouvrement moyen (%)					
<sup>13</sup> C -Di	30	36	38	39	41
<sup>13</sup> C -Tr	47	53	50	53	60
<sup>13</sup> C -Te	65	67	64	64	60
<sup>13</sup> C -Pe	78	68	76	71	72
<sup>13</sup> C -Hx	81	85	88	87	75
<sup>13</sup> C -Hp	72	75	83	82	69
<sup>13</sup> C -Oc-De	74	76	88	84	73

# ANNEXE 5, suite.

Mactre: Site/No échantillon <sup>n</sup>	3/1	4/1	4/2	5/5	5/5
Série analytique	1	1	1	2	5
Quantité analysée (g tissu humide)	22,01	18,42	17,80	18,58	16,99
% d'eau	80,8	78,3	78,2	81,7	79,5
% lipides	0,14	0,17	0,20	0,16	0,09
Concentration (pg/g tissu humide)					
DiCB	17,6	6,2	57,6	0,0	29,6
TrCB	27,0	18,6	111,6	12,9	28,2
TeCB	33,9	26,7	251,7	24,9	28,3
PeCB	28,6	20,2	480,2	23,3	30,3
HxCB	29,0	20,7	500,8	41,6	32,8
HpCB	18,1	11,8	375,9	19,9	17,6
Oc-DecCB	6,4	3,9	72,4	4,3	6,1
ΣBPC	160,7	108,1	1850,1	126,9	173,0
ET (mammifères)	0,0007	0,0006	0,0117	0,0006	0,0008
ET (oiseaux)	0,0297	0,0372	0,2881	0,0003	0,0205
Recouvrement moyen (%)					
<sup>13</sup> C -Di	38	51	33	47	39
<sup>13</sup> C -Tr	56	58	45	72	53
<sup>13</sup> C -Te	62	61	44	75	67
<sup>13</sup> C -Pe	67	68	45	80	72
<sup>13</sup> C -Hx	74	77	48	76	82
<sup>13</sup> C -Hp	65	71	46	76	75
<sup>13</sup> C -Oc-De	73	81	51	72	75

# ANNEXE 5, suite.

Moule: Site/No échantillon	1/2	1/3	2/1	3/1	4/1	4/2	5/2
Série analytique	2	2	2	2	2	2	2
Quantité analysée (g tissu humide)	15,55	15,48	9,31	12,82	10,52	13,89	11,61
% d'eau	80,4	80,0	83,2	82,7	80,2	81,0	80,0
% lipides	1,73	1,72	1,66	1,65	1,37	1,75	1,37
Concentration (pg/g tissu humide)							
DiCB	11,3	0,0	0,0	8,4	122,4	54,7	0,0
TrCB	182,3	55,1	47,7	78,3	148,8	105,0	41,4
TeCB	1005,0	141,7	137,0	232,2	149,7	157,6	99,2
PeCB	1289,5	252,8	185,6	516,2	208,8	207,3	148,7
HxCB	892,7	317,2	226,7	904,6	259,7	222,6	180,0
HpCB	245,8	75,2	64,8	357,8	72,6	55,6	46,0
Oc-DecCB	33,9	7,3	7,3	48,6	7,5	3,8	4,3
ΣBPC	3660,5	849,3	669,1	2146,1	969,4	806,6	519,6
ET (mammifères)	0,0337	0,01	0,0056	0,0213	0,0073	0,0054	0,0039
ET (oiseaux)	1,3033	0,1380	0,1184	0,3577	0,1325	0,1403	0,0944
Recouvrement moyen (%)							
<sup>13</sup> C -Di	55	64	61	50	56	59	61
<sup>13</sup> C -Tr	69	72	73	63	65	69	72
<sup>13</sup> C -Te	71	76	80	67	69	72	78
<sup>13</sup> C -Pe	78	79	87	75	73	76	82
<sup>13</sup> C -Hx	73	77	89	73	75	77	81
<sup>13</sup> C -Hp	67	78	84	70	77	79	80
<sup>13</sup> C -Oc-De	74	71	85	69	75	79	72

# ANNEXE 5, suite.

Crabe: Site/No échantillon	1/2	2/3	3/1	3/3	4/1	5/1	5/3
Série analytique	5	5	5	3	3	5	3
Quantité analysée (g tissu humide)	17,52	15,11	15,97	13,56	18,77	16,85	22,41
% d'eau	78,9	76,8	76,4	79,3	79,4	78	78,0
% lipides	0,21	0,12	0,15	1,56	1,37	0,1	1,08
Concentration (pg/g tissu humide)							
DiCB	7,3	18,4	10,1	9,1	24,1	8,5	13,7
TrCB	29,1	38,6	29,1	36,9	58,0	18,6	32,3
TeCB	172,9	146,4	99,4	154,6	249,8	95,9	211,4
PeCB	552,4	405,7	215,6	322,6	607,7	234,7	521,9
HxCB	757,3	616,9	281,4	408,7	820,9	301,2	783,6
HpCB	216,3	191,6	141,8	111,5	234,5	121,5	239,2
Oc-DecCB	35,8	42,1	32,9	16,7	30,2	26,7	46,4
ΣBPC	1771,1	1459,7	810,4	1060,0	2025,2	807,1	848,5
ET (mammifères)	0,0806	0,0724	0,0084	0,0132	0,029	0,0097	0,06
ET (oiseaux)	0,3415	0,2432	0,1131	0,1789	0,3578	0,0476	0,2951
Recouvrement moyen (%)							
<sup>13</sup> C -Di	35	32	35	38	40	32	28
<sup>13</sup> C -Tr	48	45	47	53	49	44	45
<sup>13</sup> C -Te	60	62	60	62	53	64	52
<sup>13</sup> C -Pe	62	73	64	70	58	74	72
<sup>13</sup> C -Hx	75	78	77	76	63	78	78
<sup>13</sup> C -Hp	68	71	67	72	61	70	80
<sup>13</sup> C -Oc-De	67	69	66	73	58	69	80



# ANNEXE 5, suite.

Sédiment: Site/No échantillon	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1	4/1	5/1
Série analytique	4	6	4	4	4	4	4
Quantité analysée (g sédiment sec)	49,83	33,53	41,09	36,47	24,91	39,26	30,63
% d'eau	22,1	19,3	17,5	20,8	17,6	16,5	20,2
Concentration (pg/g sédiment sec)							
DiCB	40,2	80,2	45,9	31,0	64,1	7,4	88,1
TrCB	79,1	129,1	63,4	62,3	113,8	33,9	183,6
TeCB	50,1	30,1	35,2	37,5	55,7	17,6	109,3
PeCB	35,1	36,1	24,1	20,0	23,4	16,9	61,4
HxCB	38,5	42,5	30,3	29,0	46,7	21,6	79,1
HpCB	19,5	18,6	20,1	21,0	36,8	16,0	54,4
Oc-DecCB	4,2	4,6	6,2	7,3	7,6	2,3	11,2
ΣBPC	266,8	341,1	225,2	208,0	348,1	115,7	587,1
Recouvrement moyen (%)							
<sup>13</sup> C -Di	49	33	34	38	34	40	47
<sup>13</sup> C -Tr	58	52	46	52	48	51	58
<sup>13</sup> C -Te	77	69	58	66	67	71	75
<sup>13</sup> C -Pe	86	81	68	78	81	80	86
<sup>13</sup> C -Hx	88	99	72	84	82	82	85
<sup>13</sup> C -Hp	87	97	68	80	80	82	81
<sup>13</sup> C -Oc-De	76	89	64	79	78	72	74

## ANNEXE 5, suite.

### Boulettes de mazout et de sable :

Site/No échantillon	N/A
---------------------	-----

Série analytique	4
Quantité analysé (g humide)	0,57
% d'eau	1,61

### Concentration (pg/g humide)

DiCB	17526
TrCB	128745
TeCB	132803
PeCB	27050
HxCB	2597
HpCB	462
Oc-DecCB	149
ΣBPC	309334

### Recouvrement moyen (%)

<sup>13</sup> C -Di	42
<sup>13</sup> C -Tr	54
<sup>13</sup> C -Te	76
<sup>13</sup> C -Pe	85
<sup>13</sup> C -Hx	92
<sup>13</sup> C -Hp	88
<sup>13</sup> C -Oc-De	83

